

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite

Stručni studij sigurnosti i zaštite

Ivica Sikra

# **SIGURNOST I ZAŠTITA VATROGASACA OD PLAMENIH UDARA**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2018. godina

Karlovac University of Applied Sciences  
Safety and Protection Department

Professional undergraduate study of Safety and Protection

Ivica Sikra

# **SAFETY AND PROTECTION FIREFIGHTERS OF FIERY BLOW**

Final work

Karlovac, 2018.

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite

Stručni studij sigurnosti i zaštite

Ivica Sikra

# **SIGURNOST I ZAŠTITA VATROGASACA OD PLAMENIH UDARA**

ZAVRŠNI RAD

Mentor:  
mr. sc. Đorđi Todorovski, dipl. ing.

Karlovac, 2018. godina



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
**KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES**

Trg J.J.Strossmayera 9  
HR-47000, Karlovac, Croatia  
Tel. +385 - (0)47 - 843 – 510  
Fax. +385 - (0)47 - 843 – 579



I

## **VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**

Stručni studij: Sigurnost i zaštita

Usmjerenje: Zaštita od požara

Karlovac: 30.07.2018.

### **ZADATAK ZAVRŠNOG RADA**

Student: Ivica Sikra

Matični broj: 0416612103

Naslov: SIGURNOST I ZAŠTITA VATROGASACA OD PLAMENIH UDARA

Opis zadatka:

- opisati procese gorenja, gašenja i faze razvoja požara
- opisati uvjete nastanka i razvoja plamenih udara
- opisati taktičke nastupe pri sprječavanju i gašenju plamenih udara u cilju povećanja sigurnosti i zaštite vatrogasaca
- usporediti prednosti i mane poznatih uređaja i opreme pri sprječavanju i gašenju plamenih udara zatvorenog prostora
- analizirati odabranu vatrogasnu intervenciju gašenja požara neventiliranog prostora

Zadatak zadan:

07/2018

Rok predaje rada:

08/2018

Predviđeni datum obrane:

09/2018

Mentor:

Mr. sc. Đorđi Todorovski, viši predavač

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

Dr. sc. Zvonimir Matusinović



## **PREDGOVOR**

Koristim ovu priliku kako bih iskazao zahvalnost svima koji su mi pružili podršku tijekom studiranja te se ovim putem iskreno zahvaljujem svom mentoru mr. sc. Đorđi Todorovskom, dipl. ing. koji mi je pružio svu stručnu pomoć i podršku pri izradu završnog rada.

Također iskazujem veliku zahvalu svim profesorima i stručnim djelatnicima na studiju Sigurnosti i zaštite koji su me tijekom trajanja studija usmjeravali i stručno savjetovali. Zahvaljujem se i svim pripadnicima u sustavu vatrogastva RH koji su mi na bilo kakav način pomogli u nastojanju da što uspješnije završim sve programske obveze.

Najveću zahvalu upućujem svojoj supruzi i sinu koji su mi bili najveća podrška i motivacija te njima i posvećujem ovaj pisani trag kao potvrdu za ostvareni uspjeh.

Hvala svima!

Ivica Sikra

## SAŽETAK

Proučavanje procesa sagorijevanja gorivih tvari u nekontroliranim uvjetima koji vladaju pri pojavi požara, trajan je zadatak koji se konstantno postavlja pred znanstveni auditorij. Otkrivanje faza razvoja požara na molekularnom nivou započinje krajem 40-ih godina, no mnogo je vremena trebalo proći da se definiraju određene pojave koje se javljaju pri nastanku požara a znatno utječu na daljnji razvoj požara, njegove posljedice ali i na procjenu te taktički nastup koji odabire zapovjednik intervencije. Kako su se s vremenom definirale pojave u fazi procesa gorenja tako se nastojao pronaći i adekvatan i nadasve sigurniji način gašenja. Da bi vatrogasci sigurno prepoznali pojave u razvoju požara nije se moglo prepustiti da do toga dolaze samo iskustvenom metodom već za tu svrhu postoje stručni programi osposobljavanja i usavršavanja koji se provode u simulatorima plamenih udara koji su kontejnerske izvedbe, ovisno da li se radi o plinu ili krutom gorivu za simulaciju gorenja. Sigurnost i zaštita vatrogasaca od plamenih udara kod već opisanih procesa gorenja u zatvorenom prostoru je i tema ovog završnog rada. Ono što ovaj rad čini posebnim je činjenica da će u njemu biti sadržana i moja osobna iskustva koja sam stekao kroz dugogodišnje operativno djelovanje u sastavu vatrogasne postrojbe kroz niz stvarnih intervencija ali i uspješno završenih programa osposobljavanja i usavršavanja.

**Ključne riječi:** flashover, backdraft, rollover, požar, plameni udar, vatrogasac

## SUMMARY

Researching burning rate of combustible substances in uncontrolled conditions during a fire is an ongoing task for the scientific community.

Detecting and understanding phases of a fire on the molecular level first began by the end of the 1940s. However, it took a long time before we were able to define the processes that occur during combustion. The processes significantly affect further development of fires and their consequences. They are so important that they even affect the decision as to what methods and tactical approaches are chosen to extinguish fires - a decision that lies in the hands of firefighters.

As the phases of burning and burning phenomena were being discovered and defined, we sought to find the safest and most adequate ways of extinguishing fires. It cannot be left to time and experience for firefighters to learn to recognize the phases of a fire. For this reason training in firefighter training simulators is essential. The simulators are container-type structures that differ in the type of fuel used for combustion and fire simulation.

Safety and protection of firefighters from flammable shocks in already described indoor burning processes is also the theme of this final work.

What distinguishes this thesis from similar ones is the fact that it contains my personal experiences acquired over the years working as a firefighter and through successfully finished training programs.

**Keywords:** flashover, backdraft, rollover, fire, fiery impact, fireman

## SADRŽAJ

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA.....	I
PREDGOVOR.....	II
SAŽETAK.....	III
SADRŽAJ.....	IV
1. UVOD .....	1
1.1 Izbor problema za završni rad.....	2
1.2 Predmet i cilj rada .....	3
1.3 Izvor podataka i metoda prikupljanja .....	3
2. OSNOVE GORENJA .....	5
2.1 Gorenje.....	5
2.2 Uvjeti potrebni za proces gorenja .....	5
2.3 Vrste gorenja.....	7
2.4 Normirana krivulja požara .....	8
3. RAZVOJ I ŠIRENJE POŽARA ZATVORENOG PROSTORA .....	10
3.1 Početna faza .....	11
3.2 Faza razvoja .....	11
3.3 Razbukta faza.....	11
3.4 Faza gašenja .....	12
3.5 Čimbenici koji utječu na razvoj i širenje požara zatvorenog prostora.....	12
4. PLAMENI UDARI .....	15
4.1 Oblici plamenih udara.....	16
4.2 Flashover.....	17

4.2.1 Uvjeti za nastanak flashovera.....	19
4.2.2 Predznaci flashovera .....	22
4.3 Backdraft.....	23
4.3.1 Predznaci backdrafta .....	25
4.4 Eksplozije ili zapaljenja požarnih plinova .....	26
5. TAKTIČKI NASTUPI PRI SPRJEČAVANJU PLAMENIH UDARA .....	30
5.1 Taktika djelovanja za sprječavanje flashovera .....	30
5.2 Taktika djelovanja za sprječavanje backdrafta .....	32
5.3 Taktička ventilacija.....	33
5.4 Sprave i oprema za siguran rad i zaštitu vatrogasaca od plamenih udara.....	38
5.4.1 Oprema za zaštitu vatrogasaca od plamenih udara u zatvorenom prostoru ....	38
5.4.2 Sprave i oprema za sprječavanje plamenih udara .....	40
5.4.2.1 Patent mlaznice.....	40
5.4.2.2 CCS Cobra - sistem za gašenje i rezanje na visoki pritisak.....	42
6. EKSPERIMENTALNI DIO.....	45
6.1 Požarna intervencija stana u stambenoj zgradi .....	45
6.2 Analiza intervencije .....	47
7. ZAKLJUČCI.....	48
8. LITERATURA.....	49
9. PRILOZI.....	50
9.1 Popis simbola (korištenih kratica) .....	50
9.2 Popis slika.....	51
9.3 Popis tablica.....	52

## 1. UVOD

Suvremena proizvodnja te razvoj tehnologije uvjetuju sve veću uporabu vrlo velikog broja novih, u većini slučajeva gorivih, pa čak i lako zapaljivih tvari i materijala. Povećanje produktivnosti rada i uporaba tvari i materijala čije korištenje istodobno uvjetuje opasnosti za nastanak požara nisu redovito praćeni pooštavanjem preventivnih mjera, ali su nažalost često praćeni povećavanjem broja požara i povećanjem materijalnih i ljudskih gubitaka. Materijalne štete izazvane požarima ne ovise samo o broju požara, nego prvenstveno o tome da li je između nekoliko tisuća požara, koliko ih se prosječno dogodi u Hrvatskoj, bilo i velikih tj. katastrofalnih požara, koji uništavaju ogromna materijalna dobra i vrlo često izazivaju nenadoknadive gubitke, ljudske živote. U takvim situacijama vatrogasci se nalaze u nezavidnom položaju gdje se uz teške uvjete rada pojavljuju i druge opasnosti koje im prijete poput visoke temperature, mogućnost propadanja poda ili urušavanja samog objekta, gust dim koji smanjuje vidljivost, otrovni produkti gorenja i najgore od svih zapaljivi plinovi koji mogu stvarati eksplozivne smjese. Stoga je nužna kvalitetna izobrazba budućih vatrogasaca jer upravo o stečenom znanju tijekom školovanja u budućnosti će ovisiti njihovi životi.

NFPA statistike u Sjedinjenim američkim državama, u razdoblju od 1985. do 1994. godine, bilježe 47, a između 1990. i 1999. godine 87 smrtno stradalih vatrogasaca koji su svoje živote izgubili u jednoj od vrsta naglog razvoja požara. Nikad nije razjašnjeno od čega su ustvari poginuli, no istraživanja pokazuju da su od 87 smrtno stradalih vatrogasaca najmanje 25-orica stradala od *flashovera* ili *backdrafta*.

Poznato je da su poslovi koje obavljaju vatrogasci vrlo rizični. U svijetu se spoznalo da su u velikom postotku stradalih vatrogasaca uzrok pogibije neka od vrsta plamenih udara. Kako bi se smanjilo stradanje vatrogasaca došlo se do ideja za simuliranje požara i plamenih udara i njihovo promatranje i suzbijanje u sigurnim uvjetima kako bi vatrogasci naučeno mogli primijeniti na intervencijama u stvarnim požarima. Nažalost *flashover* i *backdraft* nisu prisutni samo prilikom požara u Americi. Vrlo su česta pojava i u Europi.

U Hrvatskoj od 3500 požara godišnje koliko ih odradi samo Javna vatrogasna postrojba grada Zagreba polovica su požari stambenih objekata. Baš u takvim požarima se i

javljaju ti vječiti „neprijatelji“ vatrogasaca. Vatrogasci se prema njima odnose s određenim strahopoštovanjem jer statistike koje su iza sebe ostavili govore same za sebe. Plameni udar, kao opasnost za zdravlje vatrogasaca ima tendenciju stalnog porasta zbog zastupljenosti složenih organskih materijala u unutrašnjoj dekoraciji radnog i životnog prostora ljudi. Ovaj trend, negativan za zdravlje vatrogasaca se ne može zaustaviti ali se svakako njegove štetne posljedice za zdravlje onih koji sudjeluju u požaru može svesti na minimum. Ako vatrogasci i žrtve na vrijeme prepoznaju opasnost i znaju koje mjere treba poduzeti broj žrtava će se svesti na minimum. Od ključne je važnosti da vatrogasci prepoznaju znakove nastupajućeg oblika plamenog udara, a ne njihovi zapovjednici jer se isti ne nalaze u opožarenom objektu i njihovi životi nisu ugroženi. Naravno bitno je i da zapovjedni kadar dobro poznaje sve opasnosti kojima se izlažu vatrogasci kada krenu u požarom zahvaćeni objekat.

### **1.1 Izbor problema za završni rad**

Da ne postoje dva identična požara poznata je stvar. Izgled građevine, vrsta materijala od kojeg je napravljena, vremenski uvjeti, opskrba vodom samo su neki od parametara koji diktiraju razvoj situacije prilikom požara. Da li će požar rezultirati nekim od plamenih udara pitanje je koje se često postavlja. Upravo zbog toga je životno važno da vatrogasac posjeduje potrebnu razinu znanja o osnovama ponašanja požara općenito, a posebno u izoliranim odjeljcima. Današnja tehnologija i napredak omogućili su vatrogascima da uz upotrebu zaštitne odjeće i obuće i aparata za zaštitu dišnih organa sve dublje ulaze u opožarene prostore. Ukoliko vatrogasci nisu osposobljeni da „*pročitaju*“ znakove koje im požar šalje, od spasitelja mogu postati žrtve, a nisu rijetka stradanja vatrogasaca baš zbog nepoznavanja navedenih problema.

Teorijska i praktična nastava koja se provodi u vatrogasnim postrojbama ustrojenim u Republici Hrvatskoj ne zadovoljava ni osnovne potrebe za znanjem prosječnog vatrogasca a sve se svodi na nekoliko odrađenih taktičkih zadataka koji su obrađeni prije nekoliko desetaka godina, a sve u svrhu zadovoljavanja propisa. Pomanjkanje što stvarnijih pomagala pri izvršavanju praktične obuke od velike je važnosti. Primjera radi, prilikom uvježbavanja vatrogasaca sa hidrauličkim alatom nepojmljivo je ne imati

olupinu nekog automobila, na kojem se te sprave mogu isprobati. Isto tako nemoguće je vatrogascima objasniti razvoj požara u zatvorenom prostoru, plamene udare i učinke pojedinih sredstava za gašenje prilikom takvih požara, ako nemamo za to potrebne uvijete.

Tek sustavnim uvježbavanjem i treningom u stvarnim uvjetima vatrogasci mogu postati svjesni, i prepoznati opasnost, no da bi postigli tu razinu znanja prvenstveno moraju biti upoznati s požarom od njenog samog početka.

## **1.2 Predmet i cilj rada**

Cilj ovog rada je predstaviti i analizirati osnovni predmetni problem tj. opisati razvoj požara u zatvorenom prostoru, kako ga prepoznati i kako se sigurno ponašati sa *flashoverom/backdraftom* i drugim fenomenima naglog razvoja požara.

Za realizaciju cilja predviđeni su slijedeći zadaci:

- opisati procese gorenja, gašenja i faze razvoja požara
- opisati uvjete nastanka i razvoja plamenih udara
- opisati taktičke nastupe pri sprječavanju i gašenju plamenih udara u cilju povećanja sigurnosti i zaštite vatrogasaca
- usporediti prednosti i mane poznatih uređaja i opreme pri sprječavanju i gašenju plamenih udara zatvorenog prostora
- analizirati odabranu vatrogasnu intervenciju gašenja požara neventiliranog prostora

## **1.3 Izvor podataka i metoda prikupljanja**

Za izradu ovog završnog rada korištena je deskriptivna metoda (metoda opisivanja fenomena) koja je uključivala studij dokumentacije, odnosno dostupnih podataka ali i kontakti uspostavljeni sa stručnim osobama koje u RH provode obuku vatrogasaca u simulatoru plamenih udara, te predstavljaju jamstvo pravilne usmjerenosti tijekom cijelog procesa izrade završnog rada. Prikupljanje potrebnih podataka izvršeno je i putem dostupne stručne literature koja se koristi u obuci vatrogasnih kadrova, a dio



podataka predstavljaju plod vlastitog iskustva stečenog kroz dugogodišnje osposobljavanje i usavršavanje te djelovanje u vatrogasnom sustavu.

## 2. OSNOVE GORENJA

Prije same obrade fenomena plamenih udara te njihovog nastanka potrebno je razumijevanje teorije gorenja tj. svih čimbenika koji utječu na samo gorenje.

### 2.1 Gorenje

Gorenje je kemijski proces (oksidacija) gdje se goriva tvar burno spaja s kisikom iz zraka kao oksidansom uz oslobađanje topline, svjetlosti i produkata gorenja. Radi se o kemijskom procesu pretvorbe jedne tvari u drugu (npr. drvo u pepeo i plinove). Gorenje izvan kontrole je požar, a pod kontrolom izvor energije. Sve tvari koje gore uz pojavu plamena, ne gore direktno one same, već plinovi ili pare koje se iz njih oslobađaju u procesu gorenja. [1]



*Jednadžbe izgaranja ugljika, fosfora i sumpora s kisikom kao oksidansom.*

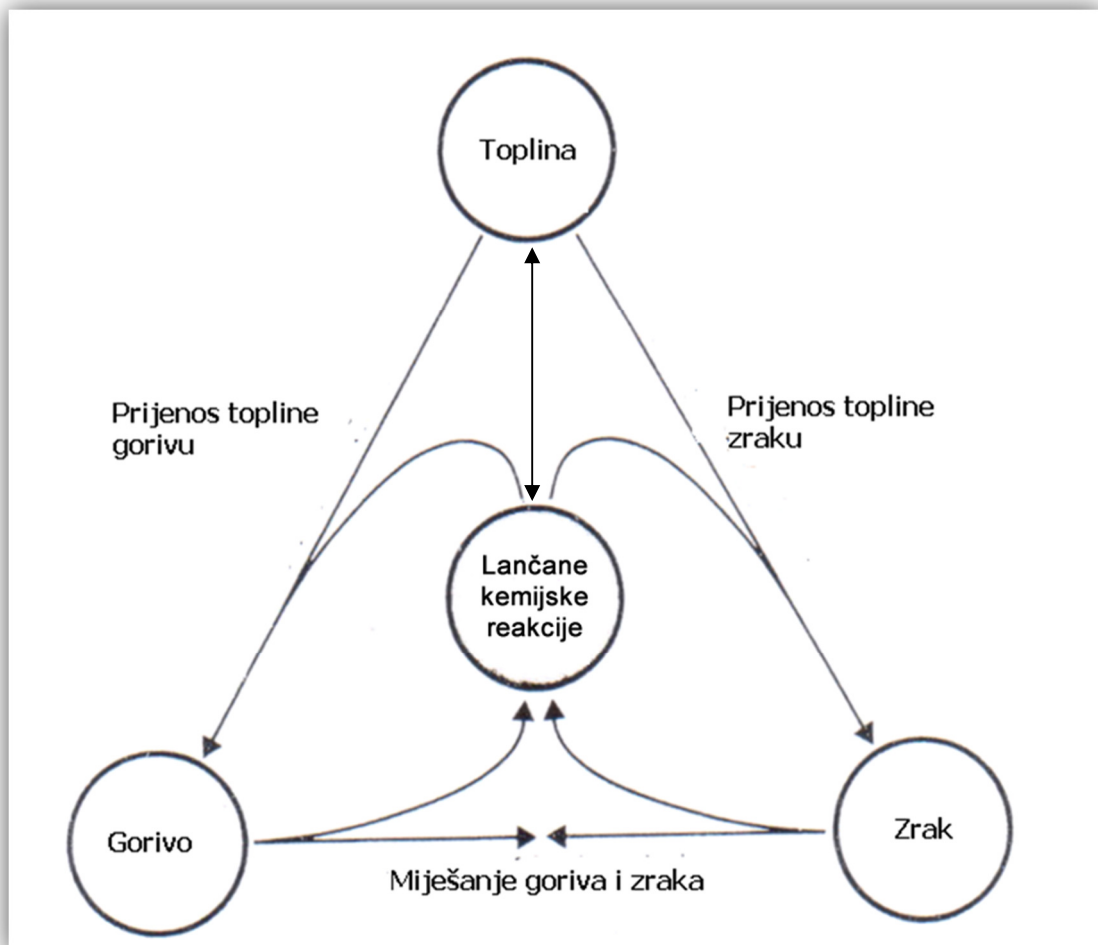
### 2.2 Uvjeti potrebni za proces gorenja

Četiri su osnovna uvjeta gorenja (slika 1.):

1. Prisustvo gorive tvari
2. Prisustvo kisika iz zraka ili nekog drugog oksidansa (tvar koja podržava gorenje)
3. Dovoljna količina topline dovedena zapaljivoj tvari da se postigne temperatura paljenja. Ako je proces gorenja u toku, tada količina oslobođene topline mora biti dovoljna da održava proces gorenja.
4. Nesmetano odvijanje kemijskih lančanih reakcija gorenja (reakcije koje se nadovezuju jedna na drugu). Tim mehanizmom se odvija proces gorenja tvari

koje gore uz pojavu plamena (požari razreda A, B i C). Kod gorenja metala (požari razreda D), nema lančanih reakcija gorenja tako da i nema tog uvjeta.

Uklanjanje bilo kojeg uvjeta gorenja ima za posljedicu zaustavljanje procesa gorenja. Na tom se principu temelje učinci gašenja.



Sl. 1. Proces gorenja [5]

Proces gorenja se odvija u smjesi zraka koja se sastoji od 21% kisika ( $O_2$ ), 78% dušika ( $N_2$ ), a ostatak od 1% su plemeniti plinovi, ugljikov dioksid ( $CO_2$ ) i vodena para. Većina tvari prestaje gorjeti ako je u zraku manje od 15% kisika (to odgovara 29%-tnom udjelu dušika u zraku). Granica izdržljivosti čovjeka je oko 15% kisika u zraku, a

ispod 10% nastupa smrt. Kao što se vidi, prosječna granica gorivosti većine tvari i izdržljivosti čovjeka su iste. Svaka goriva tvar ima neku minimalnu koncentraciju kisika koja je potrebna za odvijanje gorenja, koja se naziva granični indeks kisika. [1]

Granični indeks kisika (GIK) je najmanja koncentracija kisika u smjesi s dušikom izražena u volumnom postotku, pri kojoj neka tvar može gorjeti:

$$\text{GIK} = \frac{V \text{ kisika}}{V \text{ kisika} \times V \text{ dušika}} \times 100$$

Tvari kojima je granični indeks kisika jednak ili manji od 21 mogu gorjeti u atmosferi zraka, a kojima je veći ne mogu jer je za njih koncentracija kisika u zraku premala. Na osnovi poznavanja GIK-a mogu se izračunati količine dušika koje je potrebno dodati zraku da se prekine proces gorenja.

### 2.3 Vrste gorenja

Razlikujemo dvije vrste gorenja:

- potpuno gorenje
- nepotpuno gorenje.

**Potpuno gorenje** odvija se uz dovoljnu količinu zraka (kisika) i nema pojave dima. Dobiveni plinoviti produkti gorenja i kruti ostatak nisu više zapaljivi. Potpuno gorenje susrećemo u kontroliranim procesima gorenja (plamenici, ložišta). Osnovni sastav plinovitih produkata su vodena para i ugljikov dioksid. Ovisno o vrsti gorivog materijala mogu se pojaviti manje količine sumpornih i dušikovih oksida, klorovodika, ili nekih drugih anorganskih plinova.

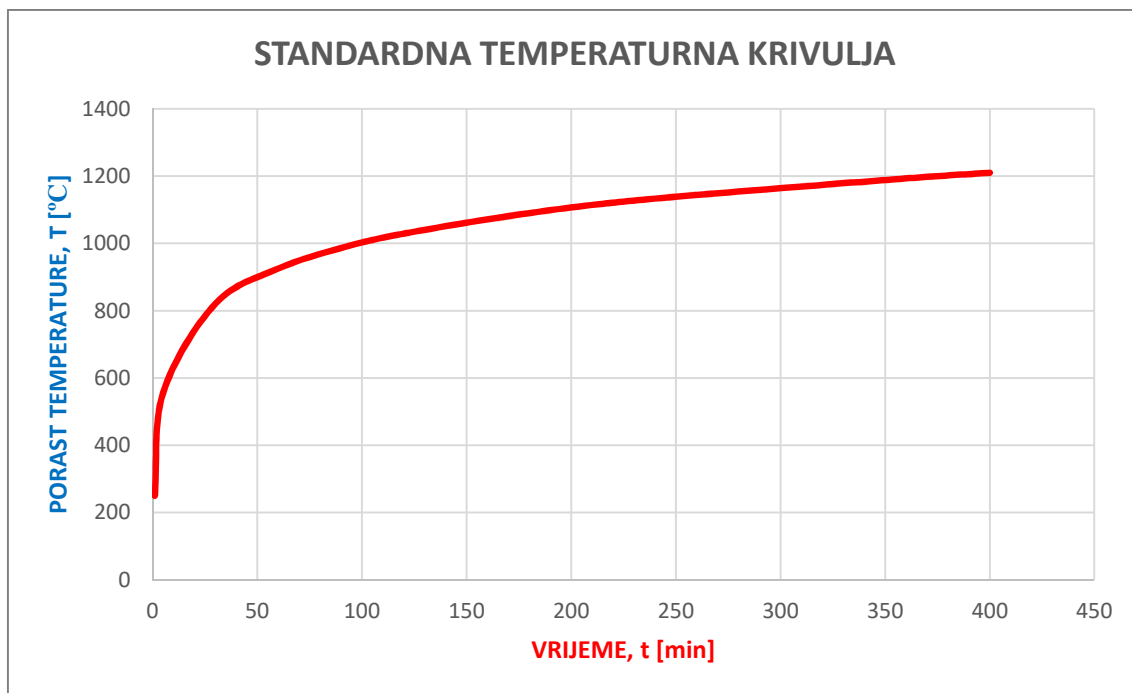
**Nepotpuno gorenje** odvija se uz nedovoljnu količinu zraka (kisika), a karakterizira ga obilje dima. Dobiveni produkti gorenja mogu se ponovo upaliti. U tom smislu plinoviti

produkti u smjesi sa zrakom čine eksplozivnu smjesu. Nepotpuno gorenje osobito je prisutno u požarima zatvorenog prostora. Pored čađe kao osnovnog sastojka dima, uvijek se pojavljuje ugljikov monoksid, čije koncentracije u zatvorenom prostoru mogu doseći i 14%. Ovisno o vrsti gorivog materijala, može se javiti sumporovodik, cijanovodik kao i mnogo drugih raznih organskih i anorganskih plinovitih spojeva koji su manje ili više svi otrovni. Svi požari odvijaju se uz obilje dima, što znači da su po svom obliku nepotpuno gorenje. Uslijed svoje otrovnosti i zapaljivosti za čovjeka su opasniji produkti nepotpunog gorenja. U realnim situacijama ne postoji oštra granica između potpunog i nepotpunog gorenja, već se može govoriti o većinskom udjelu jednog od procesa. [1]

## **2.4 Normirana krivulja požara**

Odnos temperature i vremena u požaru vrlo je bitan segment (tablica 1.). Normirana krivulja požara ili standardna temperaturna krivulja, nastala je na temelju mnogih eksperimenata i proračuna (slika 2.). Pomoću nje pokazan je porast temperature kroz šest sati normiranog požara. Krivulja je sukladna *ISO 834* normi koja se koristi u većini zemalja, a među njima je i Republika Hrvatska.

Za požar koji traje kraće od šest sati koristi se pripadajući dio standardne temperaturne krivulje. Nakon prelaska požara u fazu gašenja krivulja pada. Za požar u zatvorenom prostoru možemo reći da krivulja eksponencijalno raste do temperature između 500°C i 650°C, tj. do mogućeg nastanka flashovera. Vrijeme potrebno za postizanje te temperature je otprilike 10-20 min. To se može direktno povezati sa temperaturom paljenja ugljičnog monoksida, koja iznosi 609°C, jer ugljični monoksid je najzastupljeniji plin u procesu pirolize.



Sl. 2. Standardna temperaturna krivulja [5]

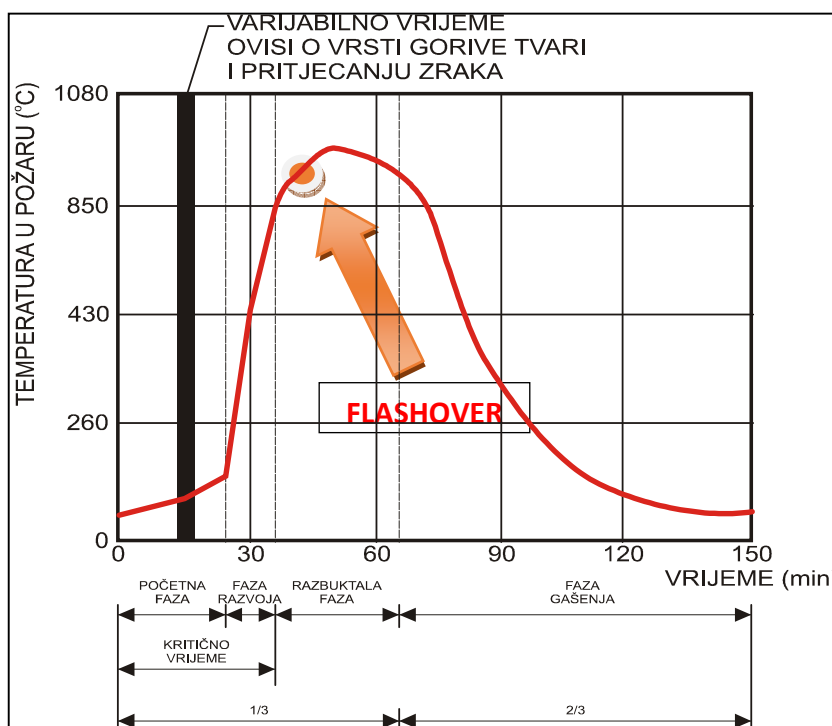
Tab. 1. Odnos temperature i vremena u požaru [3]

Temperatura (°C)	556	821	925	986	1029	1090	1133	1193
Vrijeme (min)	5	30	60	90	120	180	240	360

### 3. RAZVOJ I ŠIRENJE POŽARA ZATVORENOG PROSTORA

Razvoj i širenje požara u požarnom sektoru je puno složeniji proces od razvoja i širenja požara otvorenog prostora. Pod pojmom požarnog sektora smatra se pojedini dio građevine, više takvih dijelova ili čak cijela građevina na kojoj je za određeno vrijeme ograničeno širenje požara. Na razvoj i širenje požara unutar požarnog sektora glavni utjecaj imaju količina gorivog materijala u tom prostoru i količina kisika koji pritječe u prostor. Kada je količina gorivog materijala ograničena, kaže se da je požar kontroliran gorivom, a kada je količina kisika koji pritječe u prostor ograničena, govori se o požaru koji je kontroliran ventilacijom.

Slika 3. prikazuje nastanak i razvoj požara unutar požarnog sektora po fazama, ovisno o porastu temperature i vremenu. Treba naznačiti da se u ovom slučaju radi o požaru na kojeg od samog nastanka pa do potpunog gašenja nije bilo nikakvih vanjskih utjecaja. Nastanak i razvoj požara zatvorenog prostora je veoma složen proces, pod utjecajem velikog broja čimbenika, stoga je moguće da neke od navedenih faza i izostanu kod pojedinih specifičnih požara.



Sl. 3. Razvoj požara u zatvorenom prostoru [1]

### **3.1 Početna faza**

Početna faza požara u načelu može trajati nekoliko minuta. Zavisi o vrsti gorive tvari i pritjecanju zraka u zonu gorenja. Zabilježeni su i slučajevi gdje je požar trajao satima ali je prema svojstvima (brzina razvoja, porast temperature) cijelo vrijeme bio u početnoj fazi. Naime plamen može poradi nedostatka kisika kojeg troši iz zraka lagano tinjati satima, ukoliko je u prostorijskoj u kojoj nastaje požar onemogućen dotok svježeg zraka.

Poznato je da zapaljive tekućine i plinovi u određenim uvjetima u kratkom vremenu postižu maksimalni intenzitet izgaranja, pa je analogno tome i početna faza vremenski kratka.

U početnoj fazi temperatura ima relativno male vrijednosti, a požar je malog obujma. Plamenom su zahvaćeni pojedini predmeti, dok se u prostorijskoj povećava tlak. Zona zadimljenja može biti relativno mala ali je uglavnom volumno višestruko veća od zone gorenja. Veličina zone zadimljenja najčešće ovisi o strujanju zraka. [1]

### **3.2 Faza razvoja**

U ovoj fazi raste temperatura i povećava se količina topline pa plamen zahvaća sve više gorive tvari. Uslijed nadtlaka u prostorijskoj najčešće pucaju staklene površine. Dotokom svježeg zraka stvaraju se uvjeti za brži razvoj požara. Temperatura još nije postigla maksimalnu vrijednost. U načelu faza razvoja vremenski traje od nekoliko minuta pa do par desetaka minuta i temperatura cijelo vrijeme raste dok ne dostigne maksimalnu vrijednost. [1]

### **3.3 Razbuktala faza**

U ovoj fazi požar se širi i zahvaća preostali gorivi materijal. Tamo gdje je požar započeo goriva tvar je izgorjela. Temperatura postiže maksimalnu vrijednost i prema iskustvenim podacima u stambenim prostorima iznosi od 650 do 1000°C. S obzirom na



stupanj vatrootpornosti postoji opasnost od popuštanja manje otpornih građevinskih konstrukcija. Razbuktala faza može trajati dulje vrijeme, odnosno sve dok ima odgovarajućeg gorivog materijala. Razbuktala faza je intenzivnija ukoliko u zonu gorenja pritječe dovoljna količina zraka. Gorenje u razbuktaloj fazi prati i nastanak veće količine produkata izgaranja koji su pak usko povezani s nastankom plamenih udara. Ukoliko su zadovoljeni uvjeti ventilacije tj. ako u prostor pritječu dovoljne količine zraka, može doći do pojave *flashovera* ili ako je prostor u deficitu sa svježim zrakom, požar u tom prostoru može kulminirati *backdraftom*. [1]

### **3.4 Faza gašenja**

S vremenom se smanjuje količina gorivog materijala i temperatura počinje opadati. Ukoliko je u zonu gorenja uneseno sredstvo za gašenje, pad temperature je očitiji. Krivulja koja prikazuje standardni tijek požara opada ovisno o količini gorive tvari ili početku gašenja. [1]

### **3.5 Čimbenici koji utječu na razvoj i širenje požara zatvorenog prostora**

U razvoju požara od njegovog zapaljenja (početna faza) pa do zgarišta (faza gašenja), postoji nekoliko čimbenika koji utječu na njegovo "ponašanje" a to su:

- veličina, broj i razmještaj ventilacijskih otvora
- veličina prostora koji je zahvaćen požarom
- visina stropa
- izolacijske karakteristike pregradnih elemenata
- količina, sastav i razmještaj gorivog materijala na kojem je nastao požar
- postojanje i razmještaj gorivog materijala na koji se požar može proširiti (potencijalni gorivi materijal).

Da bi se požar uopće mogao razvijati nakon zapaljenja (početna faza), ponajprije je potrebna dovoljna količina zraka (kisika), kako bi se proces gorenja mogao nesmetano

odvijati. Veličina i broj ventilacijskih otvora unutar prostora u kojem je nastao požar određuju način i brzinu širenja požara. Veličina i oblik prostora, te visina stropa utječu na način formiranja sloja vrućih požarnih plinova.

Položaj gorivog materijala na kojem je nastao požar čimbenik je mjesta nastajanja sloja vrućih požarnih plinova. Plamen pri gorenju gorivog materijala koji se nalazi na sredini prostorije "usisava" veće količine okolnog hladnijeg zraka za potrebe samog procesa gorenja, paje stoga i taj prostor značajno manje zagrijan od prostora uz zidove ili u uglovima prostorije. Porast temperature u samom prostoru zahvaćenom požarom direktno je vezan uz količinu energije oslobođene gorenjem.

Vatrogasci moraju na vrijeme uočiti o kakvoj se vrsti gorivog materijala radi u požaru, da bi koristeći ta saznanja mogli spriječiti potencijalnu opasnost od širenja požara, kako unutar same građevine, tako i na okolne objekte i prostor.

Predmeti koji su izrađeni od materijala visokog toplinskog kapaciteta, kao što su sintetički obložen namještaj ili madrac od sintetičkih materijala ili drvene obloge, jednom kada su zahvaćeni požarom gore mnogo brže od predmeta koji su izrađeni od materijala manjeg toplinskog kapaciteta. Uglavnom je pravilo da materijali manje gustoće (poliuretanska pjena) gore puno brže od materijala veće gustoće (prirodno, pamučno platno), ako se radi o materijalima slične namjene.

Čimbenik koji utječe na zapaljenje gorivog materijala koji nije prvotno zahvaćen požarom, jer nije u blizini predmeta na kojima je nastao požar, je energija nastala u procesu gorenja. Ta energija koja nastaje gorenjem materijala na kojima je požar nastao, prenosi se na cjelokupan gorivi materijal koji još nije zahvaćen požarom u prostoriji, na sva tri načina prijenosa topline.

Toplina se prenosi konvekcijom preko plamenih jezika iznad gorivog predmeta.

Kondukcijom se toplina prenosi na gorive materijale posredstvom vrućih požarnih plinova koji kruže prostorijom.

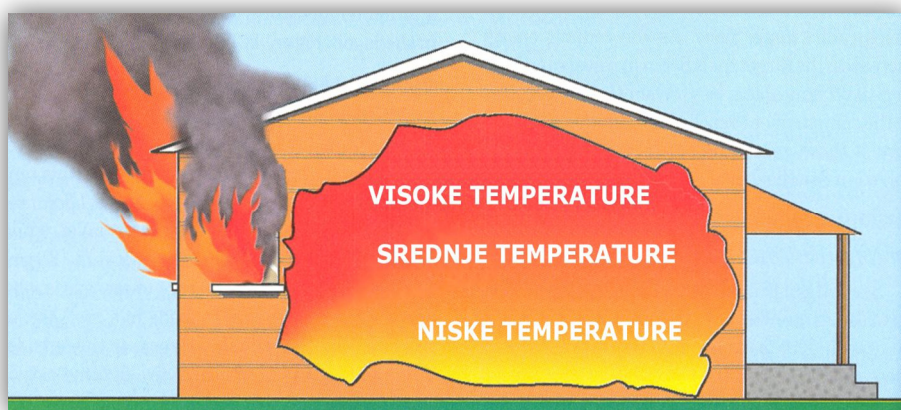
Prijenos topline radijacijom je najznačajniji čimbenik pri prijelazu požara iz faze razvoja u razbuktalu fazu. Formiranjem sloja vrućih požarnih plinova uz sam strop prostorije, čestice vrućeg dima prenose toplinsku energiju radijacijom na cjelokupni gorivi materijal, koji je izložen toj radijaciji. Taj gorivi materijal, koji prvotno nije

zahvaćen požarom nazivamo potencijalnim gorivim materijalom. Kako se količina energije koja se prenosi radijacijom povećava, tako započinje piroliza potencijalnog gorivog materijala, pri čemu se iz njega oslobađaju zapaljivi plinovi. [1]

## 4. PLAMENI UDARI

Plameni udari su pojave koje nastaju prilikom požara u zatvorenim prostorima, unutar građevina a rezultat su procesa gorenja i nekih preduvjeta kao što su loša ili dobra ventilacija, količina gorive tvari i vremena koje je proteklo od početka požara.

Gorenjem bez prisustva zraka, odnosno uz premali dotok kisika, nastaju produkti nepotpunog sagorijevanja koji su još uvijek zapaljivi i sastoje se od manje ili veće količine ugljičnog monoksida (CO). Nastali plinovi mogu stvoriti eksplozivnu smjesu uz uvjet da je njihov sastav u okviru granica eksplozivnosti. U slučaju premale ili prevelike količine goriva do eksplozije neće doći. Te granice definirane su kao *donja granica eksplozivnosti* (DGE) i *gornja granica eksplozivnosti* (GGE). Idealan odnos između plinova unutar granica eksplozivnosti poznat je pod pojmom *stehiometrijska koncentracija* ili idealna mješavina. Toplina oslobođena izgaranjem diže se u područje stropa te se tamo akumulira (slika 4.). Porast temperature izaziva povećanje kinetičke energije molekula plina, što dovodi do većeg broja sudara molekula reaktanata, a samim time i do povećanja brzine reakcije. Takvi događaji mogu imati nekoliko ishoda, ovisno o količini zraka u prostoru ili količini zraka koji dotiče u prostor, tj. manjku ili višku kisika. [1]

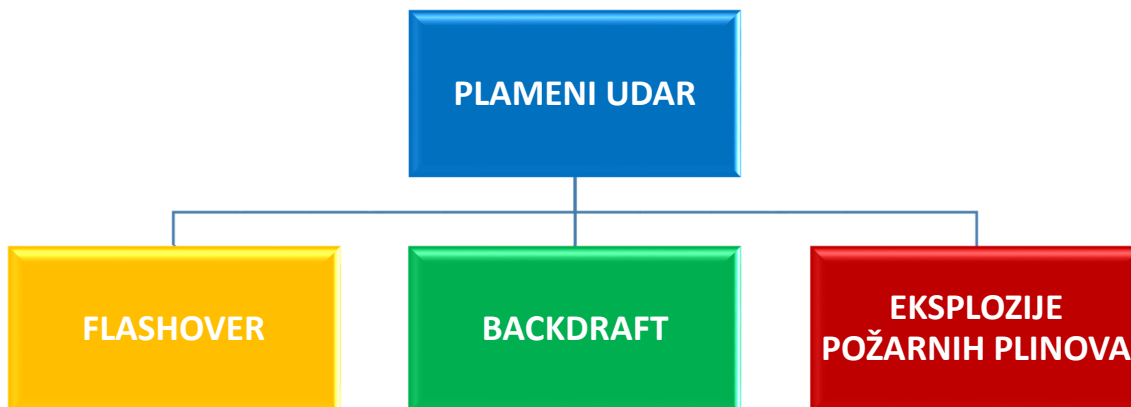


Sl. 4. Odnos temperatura pri požaru zatvorenog prostora [1]

#### 4.1 Oblici plamenih udara

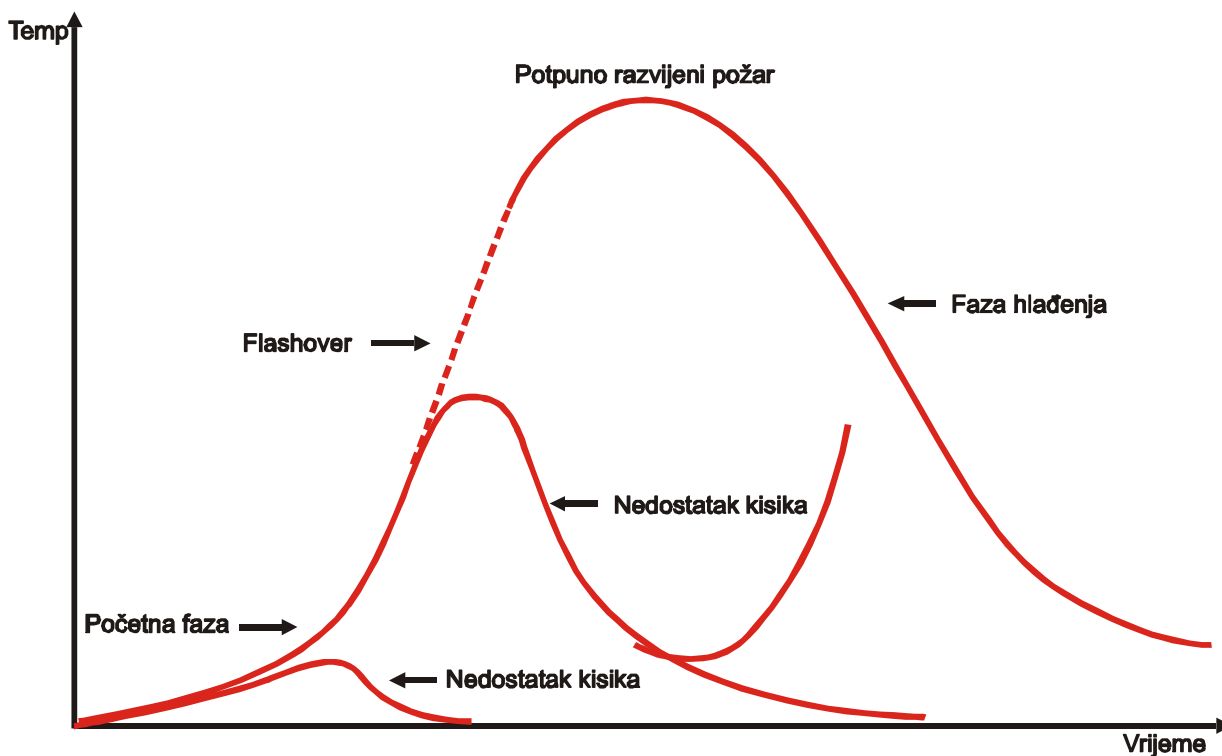
Razlikujemo tri osnovna oblika plamenih udara u zatvorenom prostoru. U Hrvatskom jeziku ne postoje odgovarajući nazivi za te pojave pa će se u nastavku koristiti strani tj. engleski izrazi koji su kao takvi prihvaćeni u svijetu, a to su: (slika 5.)

- plameni udar ventiliranog zatvorenog prostora ili *flashover*
- plameni udar neventiliranog zatvorenog prostora ili *backdraft*
- zapaljenje plinova i para ili eksplozije požarnih plinova.



Sl. 5. Podjela plamenih udara [5]

Iz slike 5. također je vidljivo da postoji nekoliko vrsta plamenih udara. Tijek požara i završni ishod ovise o nekoliko bitnih parametara, što slikovitije objašnjava (slika 6.).



Sl. 6. Krivulja prikazuje nekoliko mogućih scenarija razvoja požara u zatvorenom prostoru [3]

Dakle, u početnom požaru u zatvorenom prostoru uslijed pirolize dolazi do oslobađanja gorivom bogatih produkata izgaranja koji se skupljaju pod stropom. Ako je smjesa produkata izgaranja prebogata i nalazi se iznad GGE ne može kulminirati *flashoverom*. U tom trenutku požar koji tinja može se potpuno ugasiti uslijed nedostatka zraka ili nedovoljne količine gorive tvari ili pak se ulaskom svježeg zraka i izvora paljenja pretvoriti u jedan od plamenih udara. Plameni udar također može kulminirati i prije ako se smjesa produkata pirolize našla unutar granica zapaljivosti, no tada će biti slabijeg intenziteta. Takav *flashover* zovemo «*flashover* slabijeg intenziteta». Ako pak požar uslijed prebogate smjese ne kulminira *flashoverom* vrlo je vjerojatno da će doći do odgođenog ili moguće do potpunog *flashovera*. Nakon plamenog udara požar prelazi u potpuno razvijenu fazu. [1]

## 4.2 Flashover

Termin *flashover* svoje znanstveno porijeklo zahvaljuje britanskom znanstveniku P.H. Thomasu koji ga je 1960-tih upotrijebio kako bi opisao teoriju rasta požara do vršne

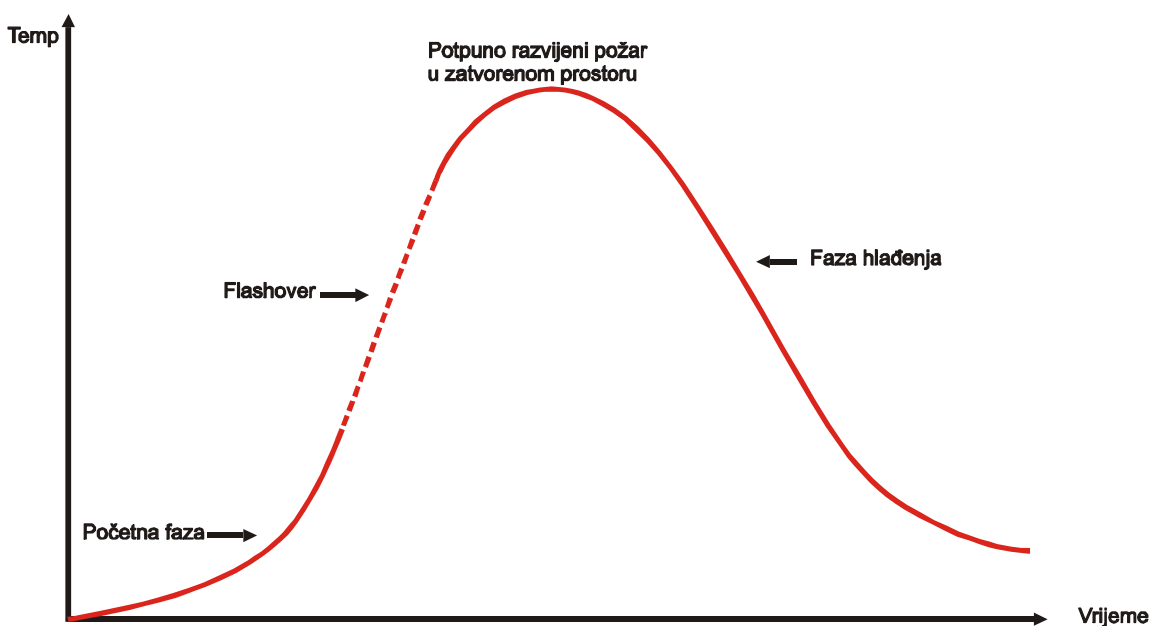
točke njegova razvoja. Za taj interval požara govorilo se da završava flashoverom. Thomas je nastavio istraživati, te je krajem 1967. godine objavio istraživanje koje donosi spoznaju da postoji više vrsta *flashovera*.

S vremenom *flashover* kao fenomen postaje predmetom mnogih istraživanja pa tako dobiva i nove definicije koje su u biti manje-više istosmislene. Tako definicija prema ISO (International standardisation organisation) glasi:

*Nagli prijelaz rastućeg požara u stanje u kojem su odjednom zahvaćeni svi gorivi materijali koji se nalaze u zatvorenom prostoru. [4]*

To u osnovi znači da je *flashover* plameni udar zatvorenog ventiliranog prostora, a događa se u fazi između početnog i razbuktalog požara (slika 7.).

Pod pojmom ventiliranog prostora podrazumijevamo prostoriju u kojoj su uslijed požara popucala prozorska stakla ili pregorjela vrata, što omogućava dotok svježeg zraka.



Sl. 7. Standardna krivulja požara u zatvorenom prostoru [3]

Nekoliko pojava vežemo uz požar neposredno prije pojave *flashovera*. Temperature u prostoriji enormno rastu, sve više gorivog materijala biva zahvaćeno požarom, odvija se proces pirolize na cjelokupnom gorivom materijalu unutar prostorije te se postiže toplinsko isijavanje veće od  $20 \text{ kW/m}^2$ , koje je dovoljno da zagrije sav upaljivi materijal na temperaturu paljenja. Pojavom *flashovera* dolazi do zapaljenja cjelokupnog gorivog

materijala u prostoriji uključujući i zapaljive plinove oslobođene pirolizom, što rezultira zapaljenjem cjelokupnog prostora.

#### 4.2.1 Uvjeti za nastanak flashovera

Da bi prilikom požara u zatvorenim prostorima došlo do *flashovera* treba biti zadovoljeno nekoliko uvjeta:

- temperatura dima i zapaljivih produkata nepotpunog gorenja pri stropu prostorije treba biti oko 600°C. Tada se postiže toplinsko isijavanje koje je dovoljno da zagrije sav upaljivi materijal (predmete i plinovite produkte pirolize) koji se nalazi u prostoriji na temperaturi paljenja
- treba postojati optimalan (idealno) dotok svježeg zraka kroz prozore ili vrata. Ako je prevelik, ne može se postići temperatura od oko 600°C jer se prostorija hladi. Ako je dotok zraka premali, požar ne gori dovoljno intenzivno i temperatura pada (stvaraju se uvjeti za backdraft). [3]

Zagrijani plinovi oslobođeni kao produkti gorenja akumuliraju se u gornjem dijelu prostorije tj. u području stropa. Temperatura još ne raste naglo zbog toga jer se vrući dim još uvijek može širiti po nezasićenom prostoru koji još nije ispunjen do kraja dimom, a i zidovi i stropovi na sebe su preuzeli određeni dio topline. Kroz određeno vrijeme požar se ipak počinje širiti i dolazi do povećanog stvaranja vrućeg dima. Ako je prostor relativno dobro zatvoren (idealno), nedovoljnim odvođenjem topline u zadimljenoj će zoni doći do porasta temperature i gornji će se dio prostorije naglo zagrijavati. Vrući dim i zagrijani dio prostorije počinju zračiti toplinu, te će gorive tvari u preostalom dijelu prostorije, koje su udaljene od žarišta požara, početi oslobađati pirolitičke plinove koji će se gomilati u gornjem dijelu prostorije u sloju dima. [3]

Prilikom izlaženja dima i pirolitičkih plinova iz prostorije ili na granici zračnog sloja i sloja dima i ako je zadovoljena potrebna koncentracija zraka moguća je pojava proplamsavanja tj. pojava plamenih jezika. Plameni jezici dodatno zrače toplinu koja još više pojačava oslobađanje pirolitičkih plinova. Dvije trećine nastale topline zračenja

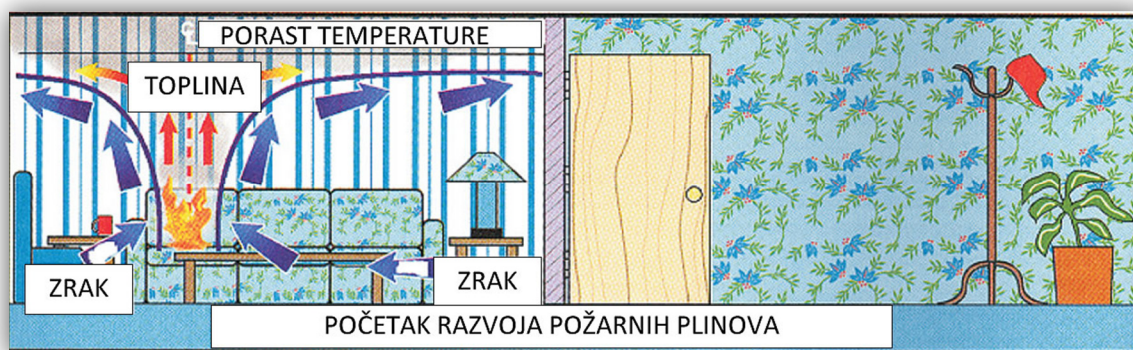


bit će zadržano i usmjereno od stropa (neutralne površine) prema dolje, uz povećan nastanak požarnih plinova kao rezultat pirolize. Tada nastaje kritičan trenutak kada se sav gorivi materijal i svi plinovi nastali pirolizom, odjednom pale. Upravo taj opisani trenutak nazivamo *flashoverom*.

Dogodi li se da je dotok zraka u požarni sektor prevelik, prostor se hladi i ne može doseći potrebnih 600°C. Isto vrijedi i za slučaj kada u sektor ne dotiče dovoljno zraka, intenzitet gorenja će biti nizak te zbog toga temperatura opada. [1]

Kroz slijedeće ilustracije (slika 8., 9., 10., i 11.) prikazan je nastanak *flashovera* kroz faze zagrijavanja.

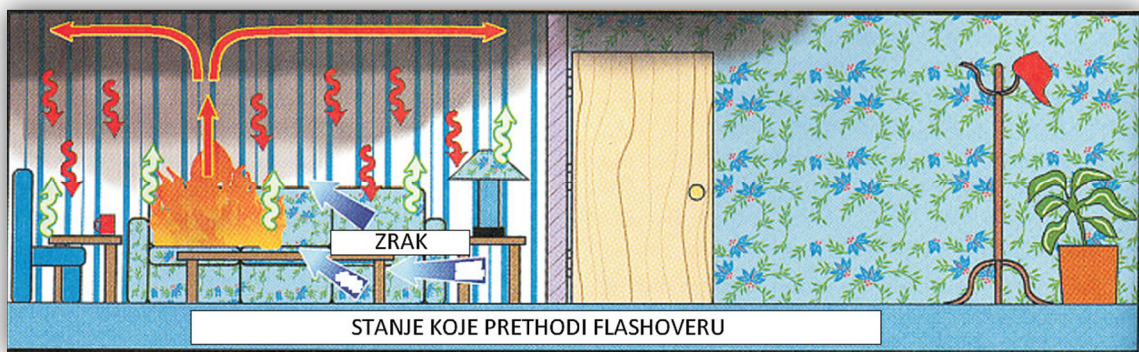
Širenja vrućih požarnih plinova u požaru zatvorenog prostora prikazano je na slici 8.



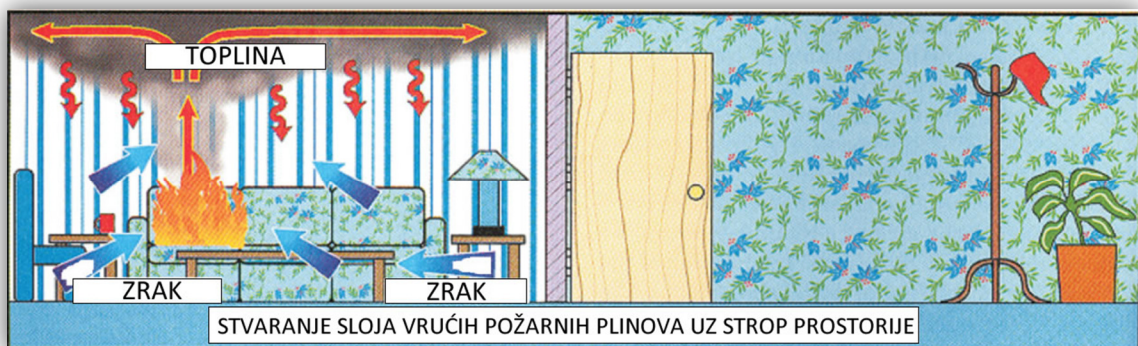
Sl. 8. Početna faza razvoja požara u zatvorenom ventiliranom prostoru [1]

Gorenje se odvija uz dovoljne količine zraka, oslobađajući tako velike količine dima i topline, koji se akumuliraju u području stropa.

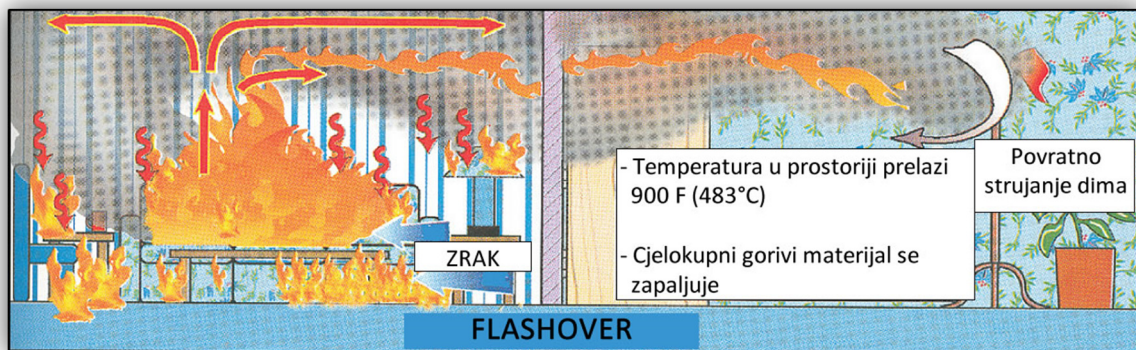
Kako se požar razvija, tako temperatura u prostoriji ujednačeno raste sa porastom temperature vrućih požarnih plinova uz sam strop prostorije (slika 9.). Uslijed zračenja topline sa usijanih površina (zidovi, strop) u zatvorenom prostoru, gorivi materijal u prostoru i plinovi nastali pirolizom gorivog materijala zagrijavaju se do temperature paljenja.



Sl. 9. Faza razvoja [1]



Sl. 10. Pojava požarnih plinova nastalih pirolizom [1]



Sl. 11. Pojava Flashovera [1]

Visoka temperatura uzrokuje naglo, gotovo istovremeno zapaljenje cjelokupnog gorivog materijala. Uz pojavu *flashovera* ne može se vezati neka precizna temperatura, no ipak se područje između ( $483^{\circ}\text{C}$  i  $649^{\circ}\text{C}$ ), smatra kao temperaturno područje nastanka ove pojave. Navedeno temperaturno područje se direktno povezuje sa temperaturom paljenja ugljičnog monoksida ( $\text{CO}$ ), koja iznosi ( $609^{\circ}\text{C}$ ), jer ugljični je monoksid uz ostale

gorive produkte izgaranja kao što su: **HCN, H<sub>2</sub>S, aldehidi, ketoni, alkoholi, smole, čađa, halogeni organski spojevi**, najzastupljeniji produkt pirolize. [1]

#### 4.2.2 Predznaci flashovera

U prirodnom razvoju požara razbuktavanje dima javlja se u ranoj fazi požara. Međutim očituje se tek u tijeku vatrogasne intervencije. Do *flashovera* najčešće dolazi kada se početne mjere zaštite pokažu neefikasnim ili kada se ne može odrediti žarište požara.

Jedan od prvih znakova prijetećeg *flashovera* je ekstremno gust, vrući i taman dim koji dinamično izlazi kroz otvore objekta. (slika 12.) Ako se u zoni dima ili na granici sa zadimljenom zonom javljaju plameni jezici poznati kao *rollover*, predstojeći *flashover* samo što nije kulminirao. No, jedini stvarno pouzdani predznak *flashovera* jest vrlo nagli porast temperature. Već prije je rečeno da je jedan od preduvjeta *flashovera* i taj da temperatura u zatvorenom prostoru mora porasti do 650°C. Taj se porast može osjetiti i preko zaštitne odjeće i sigurno najavljuje *flashover*. [1]

Sagledavši navedene činjenice bitno je za napomenuti da vatrogasci koji se zateknu u ovakvim okolnostima imaju vrlo težak zadatak a to je predviđanje *flashovera* iako u dotičnom trenutku postoji mnogo otežavajućih okolnosti koji utječu na suvislo prosuđivanje. Ono što je u tom trenutku jedino ispravno je zadržavanje maksimalne moguće koncentracije te realno razmišljanje jer pravodobna odluka je jedini način u sprječavanju pojave plamenog udara.





Sl. 12. Tipičan primjer predstojećeg flashovera [5]

#### 4.3 Backdraft

«*Backdraft* ili plameni udar neventiliranog zatvorenog prostora nastaje u prostoriji u kojoj se požar ugasio uslijed nedostatka zraka jer nisu pregorjela vrata ili popucali prozori. U zatvorenom prostoru nalaze se upaljivi plinovi (produkti pirolize i produkti nepotpunog gorenja) u koncentraciji iznad gornje granice eksplozivnosti. Moguća su lokalna tinjanja, međutim ona uslijed nedostatka zraka ne mogu upaliti plinove. Otvaranjem tog prostora (npr. ulaskom vatrogasca) u prostor ulazi svježiji zrak, smjesa ulazi u područje eksplozivnosti, i ako postoji izvor paljenja upali se i eksplodira.»

Praktički gledano, ukoliko je prostorija zatvorena nema uvjeta za *flashover* jer nema dovoljno zraka, tj. požar jenjava. Ukoliko se ta prostorija otvori, pritječu nove količine zraka i stvaraju se uvjeti za *backdraft*. Požar se može i sam ugaziti ukoliko uopće ne

dođe do otvaranja prostorije jer se s vremenom prostorija ohladi. Nakon nekog vremena požar je „potrošio“ sav kisik za gorenje iz prostorije pa se počinje gasiti. [6]

U ovoj fazi nastaju produkti suhe destilacije, a među opasnije se mogu ubrojiti sumporovodik, klorovodik, cijanovodik i kao najzastupljeniji ugljični monoksid. Nakon nekog vremena nema više plamena ali je prostorija prepuna zapaljivih plinova koji se ne mogu zapaliti jer nema kisika.

Temperatura u prostoriji je nepromijenjena, ali s vremenom se počinje hladiti uslijed čega nastaje podtlak. Ako otvorimo vrata ili razbijemo prozor vidjet ćemo usisavanje zraka u prostoriju (slika 13.).

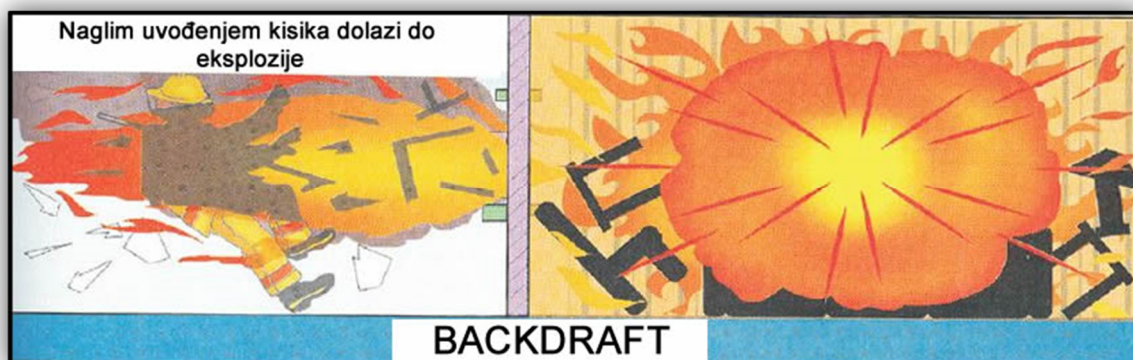
Otvaranjem vrata prostorije, u prostoriju će se usisati zrak koji će se početi miješati sa zapaljivim plinovima. Čim mješavina zraka i produkata izgaranja uđe u području eksplozivnosti te dođe do izvora paljenja, u ovom slučaju to može biti žar iz žarišta požara, doći će do naglog paljenja vrućih produkata pirolize.

Vrijeme od otvaranja vrata do plamenog udara nije moguće točno utvrditi, ono može iznositi nekoliko sekundi, ali i nekoliko minuta. Sve ovisi o tome kako će se brzo zrak miješati sa zapaljivim plinovima i kako će brzo ta eksplozivna smjesa doći do izvora paljenja. Nakon zapaljenja, vatrena fronta i udarni val krenuti će prema izvoru kisika i izbiti kroz otvor, odakle je ušao zrak. U tom trenutku nastaje *backdraft*.



Sl. 13. Prodor zraka u zatvoreni prostor uslijed akcije vatrogasaca [1]

Bilo koje djelovanje vatrogasaca pri kojem je omogućeno miješanje tih zapaljivih plinova sa zrakom, dovodi do naglog paljenja produkata pirolize u smjesi sa zrakom i naziva se *backdraft* (slika 14.).



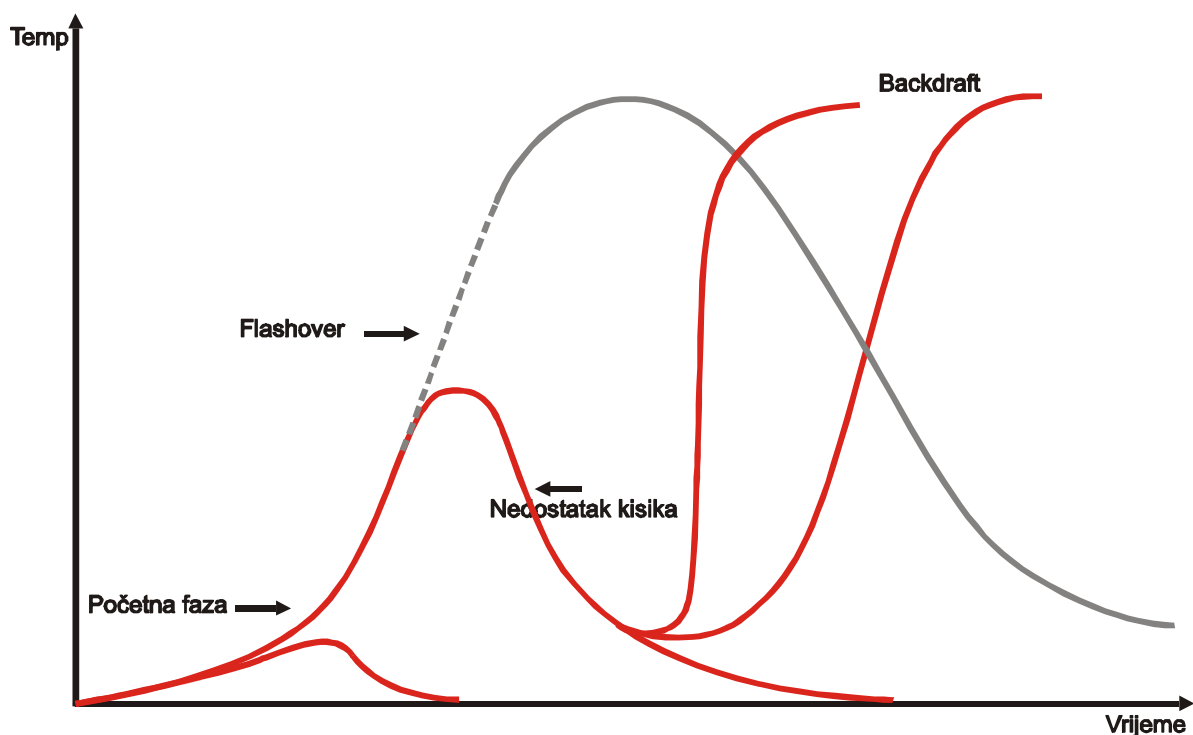
Sl. 14. Pojava fenomena backdraft [1]

#### 4.3.1 Predznaci backdrafta

Opasnost od *backdrafta* prvenstveno postoji pri otvaranju prostorije ako se požar nalazi u svojoj kasnijoj fazi. Postoji nekoliko karakteristika kojima možemo okarakterizirati nadolazeći *backdraft*:

- **trajanje požara** - ako postoji sumnja da je požar u zatvorenoj prostoriji otkriven jako kasno, postoji mogućnost za plameni udar
- **dim** - prozori zatvoreni dimom i čađom, kao i dim koji na udare izlazi kroz prozore, daljnji su predznak plamenog udara
- **kvake na vratima**- topla, odnosno vruća kvaka na ulaznim vratima daje naslutiti da je iza vrata još toplije ili da je neposredno prije bilo vruće
- **usisavanje zraka** - ako se nakon otvaranja vrata uoči usisavanje zraka, tada će najvjerojatnije doći do plamenog udara. [1]

Iz slike 15. je vidljivo da požar u neventiliranom zatvorenom prostoru može imati nekoliko različitih ishoda. U slučaju nedostatka gorive tvari ili kisika može se u potpunosti ugasiti. Ako pak su ti uvjeti zadovoljeni u većoj mjeri, isto se može dogoditi vremenski nešto kasnije ili pak dolaskom svježeg zraka može kulminirati backdraftom. Linija sive boje prikazuje mogući flashover čije je nastajanje isključeno zbog nedostatka kisika i nedovoljno visoke temperature.



Sl. 15. Razvoj požara u zatvorenom neventiliranom prostoru [3]

#### 4.4 Eksplozije ili zapaljenja požarnih plinova

Sada je već jasno da su *flashover* i *backdraft* dva odvojena događaja, što znači da za nastanak istih trebaju biti zadovoljeni različiti uvjeti koji su detaljnije opisani u poglavljima (4.2.1 i 4.3.1). Međutim, postoje situacije u kojima može doći do paljenja požarnih plinova u prostorima u kojima isti nisu nastali. Takve situacije nisu povezane ni s kojim od spomenutih događaja, ali imaju vrlo sličan učinak.

Za vatrogasce je osobito važno poznavanje i razumijevanje uvjeta koji mogu dovesti do takve vrste zapaljenja.

Razvijanje požarnih plinova može se dogoditi unutar zgrade. Požarni plinovi, mogu se naći unutar gorućeg prostora zgrade, susjednim prostorijama, ulaznim hodnicima (veže ili okna) i hodnicima. Oni se mogu gibati, udaljiti od izvora požara, kroz građevinske šupljine ili u potkrovne prostore. Dotok zraka nije uvjet za paljenje tih plinova čija je koncentracija već u okvirima eksplozivnosti, već je jednostavno dovoljan izvor paljenja. Pojavi li se neki izvor paljenja, eksploziju koja će uslijediti moguće je usporediti s *backdraftom*, ali se ipak radi o „eksploziji požarnih plinova" koncentriranih u nastalom dimu.

Paljenje zagrijanih požarnih plinova moglo bi se dogoditi i na mjestu gdje se oni miješaju sa zrakom, odnosno na mjestu njihova izlaska iz gorućeg prostora. To se može dogoditi kod prozora ili ulaznih vrata, a rezultirajuća vatra može se vratiti u prostoriju povratnim gorenjem kroz dimni sloj.

Neupućeni će teško razlikovati eksploziju požarnih plinova i *backdraft*.

Za razliku od *backdrafta* i *flashovera*, koji se događaju unutar (ili iz) opožarenog prostora, eksplozija požarnih plinova događa se u izdvojenim prostorima.

***Tri su glavna razloga koji čine tu razliku:***

**Vođenje:** Toplina može biti vođena od požarnog sektora prema drugim sektorima. To može biti uzrokom razgradnje ostalih gorivih materijala i širenja pirolize na druge sektore, koji su bili pošteđeni vatre.

**Istjecanje:** Zbog različitog tlaka, nastalog požarom u građevini, događa se tzv. "istjecanje požarnih plinova" iz požarom zahvaćenog prostora. To se istjecanje događa različitim kanalima, kroz šupljine i međuprostor unutar građevinske konstrukcije, prema drugim prostorima u građevini, u kojima se s vremenom nakupe u velikim količinama.

**Konstrukcija:** I građevinska konstrukcija može imati utjecaj na mogućnost eksplozije požarnih plinova, ne samo zbog prije spomenutog istjecanja požarnih plinova, već i zbog pojave tinjajućeg izgaranja uzrokovanog toplinskim zračenjem požara. To tinjajuće izgaranje može biti pritajeno unutar, primjerice "sendvič obloga" i u slučaju da



ne bude otkriveno, nakupljanje zapaljivih požarnih plinova može rezultirati eksplozijom. [3]

Potrebno je zapamtiti da se eksplozija požarnih plinova rijetko događa u prostorima gdje je požar nastao.

**Znaci upozorenja - uočljivi izvana:**

- pulsiranje požarnih plinova kroz otvore i pukotine / zviždeći zvuk
- zamjetno gibanje požarnih plinova
- nema vidljivog plamena
- vruća vrata i prozori
- prozorska okna zacrnjena masnim naslagama čađe.

**Znaci upozorenja na ulazu u građevinu:**

- neutralna zona u razini poda
- plameni jezici u plinskom sloju
- tinjajuća ili nevidljiva vatra
- snažan protok zraka kada se vrata otvore.

**Znaci upozorenja u samoj građevini:**

- nagli porast temperature
- plamen u plinskom sloju
- plinovi nastali pirolizom vidljivi na svim površinama
- plamen se naglo počinje širiti prema stropu
- vidljive promjene u neutralnoj zoni.

Mnogo je događaja koji se mogu smatrati zapaljenjem požarnih plinova i takav fenomen može generalno biti definiran kao *paljenje akumuliranih plinova i produkata izgaranja, koji gore , ili su dovedeni u goruće stanje.*

Svako takvo zapaljenje obično nastaje pod utjecajem izvora paljenja u predmiješanoj atmosferi zapaljivih plinova ili kretanju takvih plinova prema izvoru paljenja; ili kretanju gorivom bogate mješavine plinova u područje gdje ima kisika i izvora paljenja. Eksplozija je definirana kao brzo širenje fronte plamena popraćene valom tlaka od (5 - 10 kPa). Tlak tih vrijednosti dovoljno je snažan da razbije prozore. Ako val tlaka nije

formiran ili je neznatan tada nastaje fenomen poznatiji kao vatreni bljesak, a ne eksplozija. Nivo dima/plina može se spuštati na izvor paljenja prilikom gašenja, tj. vatrogasci uz pomoć mlaza vode oblak dima potiskuju prema izvoru paljenje u donjem dijelu prostorije (žaru), a izvor paljenja ili žar može se podići u plinove prilikom raskopavanja požarišta ili pomicanjem nagorijelog namještaja. Proces poznat kao dahtanje može prethoditi naglom razbuktavanju produkata pirolize. Taj efekt je isti kao i efekt kad se dim ispušta u prekidima, opisan kao znak upozorenja za *backdraft*.

Miješanjem plinova sa džepovima zraka isti mogu doći u područje eksplozivnosti i zapaliti se uz promjenjive ishode. Prilikom gibanja vrućih požarnih plinova kroz uske otvore oni dobivaju ubrzanje, a to može imati kobne posljedice. U slučaju da požarni plinovi izađu izvan građevine, a da prije toga nisu promijenili smjer gibanja, plamen koji izlazi kroz prozore ili vrata, može biti duljine i do desetak metara. [3]

## **5. TAKTIČKI NASTUPI PRI SPRJEČAVANJU PLAMENIH UDARA**

Razbuktavanje dima može se spriječiti prikladnim mjerama. Prikladne mjere su u prvom redu navala usmjerena na žarište požara, odimljavanje i djelovanje s granica požarnog sektora kako bi se na najefikasniji i najsigurniji način utjecalo na sprječavanje pojave plamenog udara.

### **5.1 Taktika djelovanja za sprječavanje flashovera**

#### **Odimljavanje**

Odimljavanje - je u prvom redu odvođenje dima i topline iz objekta pa tek onda prozračivanje objekta. Budući da je flashover prema definiciji razbuktavanje dima nastalog u požaru, opravdano je mišljenje da ga treba ukloniti iz objekta. Uvjetovano dvjema zonama u prostoriji, otvor za odimljavanje treba se postaviti što je moguće više, kako bi se odvodio dim, a ne raspirivala vatra. Otvor bi isto tako trebao biti što bliže žarištu požara, kako vrući dim ne bi morao prolaziti objektom i na svom putu uzrokovati dodatnu štetu. U praksi to znači odmah koristiti postojeće otvore (ODT-sustavi za odvod dima i topline, krovni prozori, svjetlosne kupole).

Na vrijeme, a to znači čim se primijeti da ne postoji mogućnost neposrednog gašenja žarišta, potrebno je napraviti otvore za odimljavanje. Kod požara stanova potrebno je najprije izvana razbiti stakla odnosno vjetreno okno, a zatim prozorska krila počevši sa strane. Nikada se ne smije stajati neposredno ispod prozora, odnosno vrata koja se razbijaju ili otvaraju.

Kod većih objekata poput skladišnih hala ili potkrovlja, potrebno je na vrijeme formirati sektore za odimljavanje na krovu ili odimljavanje s bočne strane s barem jednom grupom koja ima voditelja sektora i koja je opremljena s opremom i alatom za razvaljivanje. Kod odimljavanja zgrada s ravnim krovom postoje ofenzivni i defenzivni

postupci odimljavanja. Ofenzivno je moguće intervenirati samo na početku intervencije, a sastoji se od otvaranja krova (2m x 2m) iznad žarišta radi odvođenja dima i plamena.

Defenzivni se postupci odimljavanja provode nakon ofenzivnih tako da se napravi otvor dovoljno udaljen od žarišta požara, širine jednog metra uz duž cijele bočne strane zgrade, koji će zajamčiti odvođenje dima i topline. Eventualni viseći stropovi probijaju se polugom.

U otvore za odimljavanje ne smije se ubacivati voda. Žarište požara se ionako najčešće ne može dohvatiti, a vodena para koja nastaje stvara čep ispred otvora i tako sprječava odvođenje dima. Ako se primjenjuje tlačno odimljavanje uređajem za upuhavanje zraka ("tajfun"), potrebno je obratiti pozornost da izlazni otvor tajfuna pokrije otvor za dovod zraka i da eventualno upotrijebi više uređaja. Ukoliko to nije moguće, treba odustati od tlačnog odimljavanja jer se u suprotnom samo dovodi zrak, a ne odvodi dim. [1]

**Gašenje.** Neposredno gašenje žarišta zasigurno je najbrža i najefikasnija metoda za sprječavanje flashovera. Za takvu je navalu važan protok vode. Stručnjaci su dokazali kolika je količina vode (L/min) potrebna za apsorpiranje toplinske energije stvorene u prostoriji određene veličine (1,5-struki volumen prostorije u m<sup>3</sup> otprilike odgovara potrebnom protoku vode za gašenje izraženom u L/min). Prema tome upotreba mlaznica s protokom vode od 100 L/min dostatna je samo kod prostorija površine do 30m<sup>2</sup>, što odgovara većini stambenih prostorija (30 m<sup>2</sup> površine x 2,5 m visine x 1,5 = 135 L/min). U većim prostorijama poput hala, podruma ili potkrovlja protok vode mora iznositi znatno više od 100 L/min. Ovakva intervencija nužno zahtijeva upotrebu mlaznica s mogućnošću regulacije protoka vode.

U slučajevima kod kojih je uobičajeno neposredno gašenje žarišta požara nemoguće ili preopasno zbog vrućeg dima, potrebno je hlađenje samog dima. A to je pak moguće samo boljim mlaznicama ili visokotlačnim pumpama jer promjer kapljica vode mora biti manji od 0,3 mm, kako bi imala što veći efekt hlađenja dima.

Kapljice tog promjera isparavaju prolazeći kroz dim i /ili vatru. Idealna bi bila primjena tehnike impulsnog gašenja požara. Za ovaj je postupak karakteristično da se u dim izbacuje voda u impulsima u trajanju od 2-3 sekunde pri čemu mlaz "šara". Kut i širina

mlaza ovise o veličini i dubini prostorije. U velikim dugim prostorijama izbacuje se uski raspršeni mlaz kojemu kut iznosi 30°, a u manjim, kratkim prostorijama široki raspršeni mlaz s kutom od 45°.

Stvaranje vodene pare i smanjenje volumena tako hlađenog dima kod pravilne primjene mlaza ne utječe na održavanje termičke ravnoteže. Nastala vodena para ne ugrožava navalnu grupu koja nakon hlađenja dima može početi s neposrednim gašenjem. Ovaj postupak iziskuje intenzivnu izobrazbu i vježbanje. Impulsno gašenje nije moguće običnim mlaznicama. Takvim se mlaznicama može samo hladiti strop radi sprječavanja nagomilavanja topline. [1]

## **5.2 Taktika djelovanja za sprječavanje backdrafta**

Kao što postoji mali broj apsolutno sigurnih predznaka plamenih udara, isto je tako malo sigurnih taktičkih mjera. Naročito treba posvetiti pažnju kod pravilnog otvaranja vrata i prozora, a čega bi se trebalo pridržavati u svakoj intervenciji. Prozori i vrata moraju se otvarati iz zaklona, tj. sa strane i po mogućnosti uz zaštitu pripremljenog mlaza vode. Ako se pri otvaranju vrata ugleda usisavanje zraka u prostoriju, vrata se moraju odmah ponovno zatvoriti ili usmjeriti raspršeni mlaz na dim i tako vodenom parom spriječiti plameni udar.

Ako se pak opravdano sumnja na plameni udar, tada ga možemo usmjeriti u željenom smjeru. Budući da udarni val i vatrena fronta idu prema nastalom otvoru, moguće je, prije ulaska grupe u prostoriju, otvoriti prozor. Ako dođe do plamenog udara, tada se on "prazni" kroz nastali otvor i ne ugrožava navalnu grupu koja se nalazi u unutarnjoj navali. Ovdje je također jako važna zaštitna odjeća upravo zbog nepredvidljivosti plamenog udara. Ona doduše ne smanjuje povrede od udarnog vala, ali sprječava opekotine.

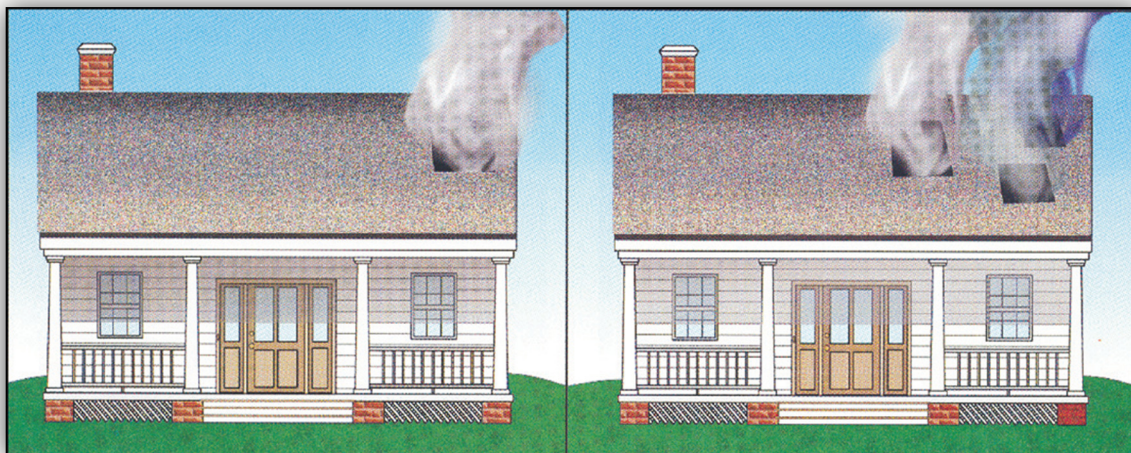
Također, još jedna od sigurnosnih mjera je kod moguće pojave backdrafta je uspostavljanje okomite ventilacije prije ulaska vatrogasaca u prostor (pravljenje ventilacijskog otvora na najvišoj točki na stropu ili krovu prostora zahvaćenog

požarom), kako bi se omogućio nesmetan izlazak neizgorjelih zapaljivih plinova iz prostora koji imaju tendenciju uzdizanja u više razine. [1]

### 5.3 Taktička ventilacija

Spašavanje ljudi, kao prvi vatrogasni prioritet, ometa termalni sloj koji se širi po objektu. Najefikasniji način uklanjanja dima je ventiliranje. Ono može biti prirodno ili umjetno, ostvareno djelovanjem vatrogasaca i adekvatne opreme. Također, prema pravcu djelovanja, dijeli se na horizontalno i vertikalno. Koju vrstu ventilacije će vatrogasci koristiti zavisi od čimbenika koje zateknu na požaru (konstrukcije objekta, položaja otvora na objektu, konstrukcije krova, lokacije požara, brzine, jačine i smjera vjetra) te standardnih procedura vatrogasne postrojbe.

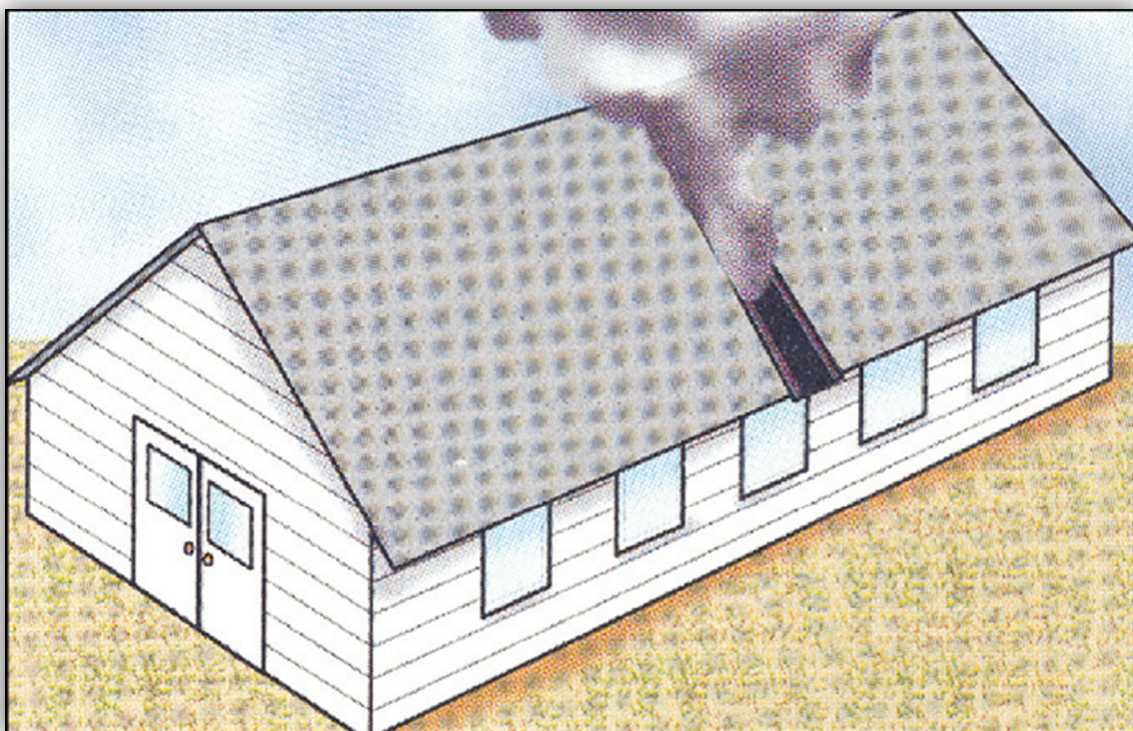
**Okomita ventilacija.** Ova vrsta ventilacije podrazumijeva otvaranje krova ili već postojećih krovnih otvora u svrhu odimljavanja. Kako bi pravilno ventilirali krov vatrogasci moraju poznavati osnovne tipove i dizajn krova. Vatrogasci dolaze u dodir sa tri rasprostranjena tipa krova: ravnim, šiljastim, u obliku luka i kombinacijom. Okomita ventilacija se može obaviti kada vatrogasci obave sljedeće radnje: razmotre tip zgrade zahvaćene požarom; razmotre lokaciju, trajanje i opseg požara; razmotre mjere sigurnosti; odrede putove povlačenja; odaberu mjesto ventilacije i premjeste osoblje i alat na krov. Ako na krovu već postoje krovni otvori (poklopci, prozori, krovni monitori, ventilacijska okna i vrata od stuba) iste treba koristiti za okomitu ventilaciju gdje je to moguće. No, rijetko su ti otvori na najboljem mjestu ili dovoljno veliki za prikladnu ventilaciju. Kada se reže krov treba napraviti pravokutni ili kvadratni otvor kako bi se olakšao kasniji popravak krova. Jedan veliki otvor najmanje 1,2 m x 1,2 m je puno bolji od nekoliko manjih (slika 16.). [1]



Sl. 16. Primjer ventilacijskih otvora na krovu [1]

Kada se ostvari okomita ventilacija, prirodni prijenos zagrijanih plinova stvara strujanje prema gore koje vuče požar i toplinu u smjeru vanjskog otvora. Uslijed toga vatrogasci iskorištavaju poboljšanu vidljivost da ugase požar. Povišeni mlaz vode često se koristi za smanjenje iskri i letećih čestica iz goruće zgrade ili za smanjivanje toplinskog isijavanja iznad zgrade. Naročitu pažnju pri korištenju ovog mlaza vode treba obratiti na to da se on ne koristi prema dolje, u ventilacijski otvor, jer se tako može poremetiti uobičajeno gibanje plinova iz zgrade. Ovo može potjerati pregrijane plinove i zrak natrag na vatrogasce uzrokujući ozbiljne ozljede ili smrt kao i širenje požara kroz strukturu. [1]

**Linijaska ventilacija.** Ova vrsta ventilacije poznata je još i kao ventilacija brazdom, prugom ili isjekom. Standardna okomita ventilacija se koristi samo radi uklanjanja zagrijanih dimova i plinova koncentriranih iznad požara, a ventilacija isjekom se koristi radi zaustavljanja širenja požara duž duge uske strukture. Izvodi se režući veliku rupu ili brazdu koja je minimalno široka 1,2 m i pruža se od jednog vanjskog zida do onog nasuprot (slika 17.). Ova rupa obično se reže ispred napredujućeg požara kako bi se postavila obrambena linija na kojoj će napredovanje vatre biti zaustavljeno. [1]



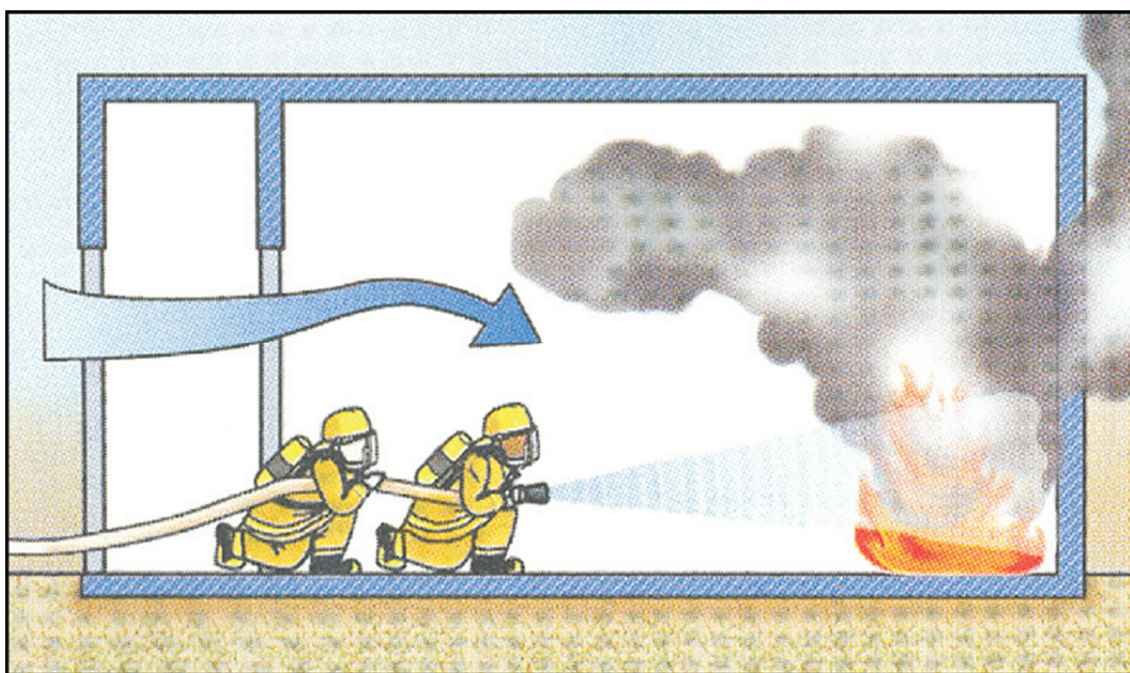
Sl. 17. Isjek po čitavoj širini krova [1]

**Vodoravna ventilacija.** Pomoću nje se vrši ventiliranje topline, dima i plinova kroz zidne otvore kao što su prozori i vrata. Tada se obično dim i toplina ne odvede odmah iznad požara prema van, već putovi kojima oni prolaze ugrožavaju stanare, odnosno putove evakuacije. Zbog toga postavljanje ove ventilacije bez prethodnog obaziranja na stanare i proces spašavanja može blokirati evakuaciju i spašavanje stanara. Kako se ovim ventiliranjem dim i toplina ne odvede odmah izvan zgrade, postoji konstantna opasnost da plinovi i dim koji se odvede zapale više dijelove zgrade. Mogli bi zapaliti



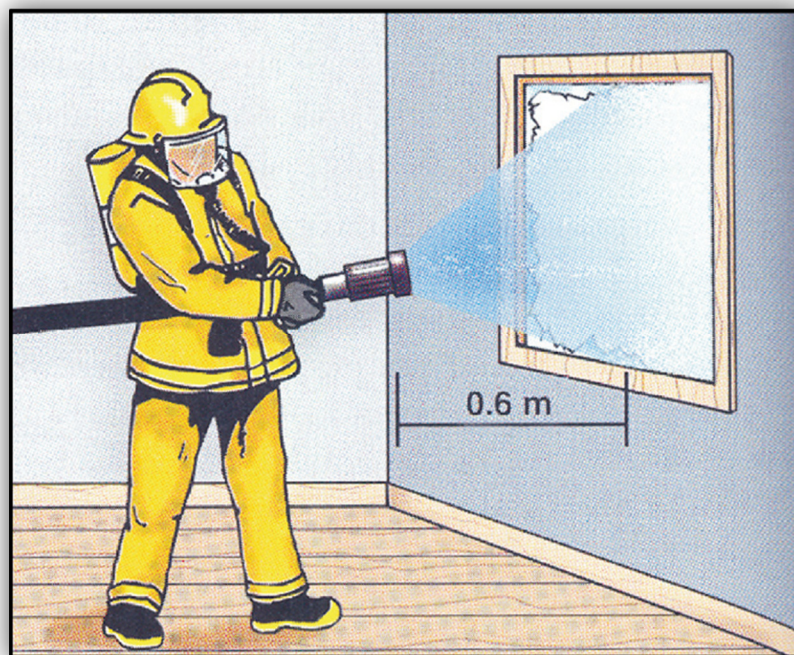
vanjsku konstrukciju građevina ili bi mogli biti povučeni u prozore iznad njihove točke oslobađanja. Spašavanje unesrećenih izvodi se odmah, a usporedno se pripremaju cijevi za gašenje do samog ulaska u prostor. Zgrada se ne smije otvarati, osim ako se moraju spašavati unesrećeni, tako dugo dok nije provedeno odimljavanje i dok nisu pripremljeni mlazovi za gašenje i za zaštitu.

Otvaranjem vrata i prozora između napredujućih vatrogasnih grupa i napravljenih ventilacijskih mjesta izlazaka plinova smanjuje se dotok svježeg zraka s otvora iza vatrogasaca (slika 18.). [1]



Sl. 18. Pravilna ventilacija omogućuje veću učinkovitost gašenja požara [1]

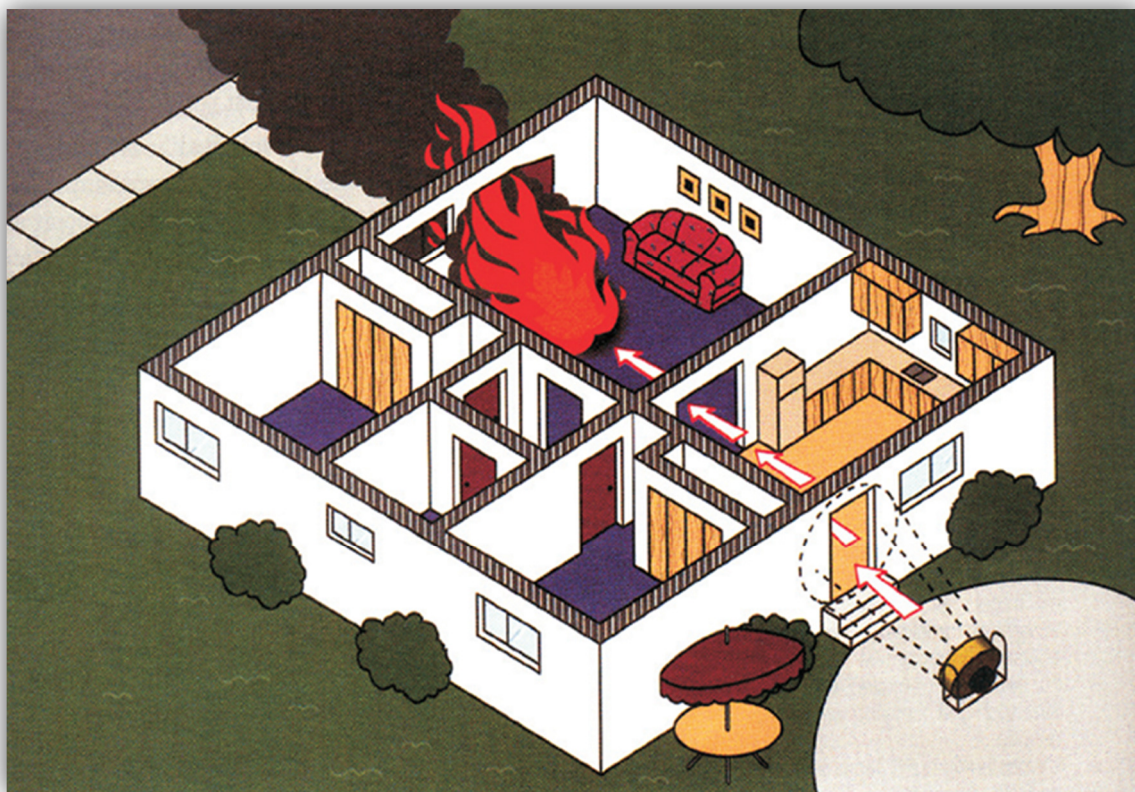
**Hidraulična ventilacija.** Ventilacija upotrebom mlaza može se koristiti kada se drugi tipovi prisilne ventilacije ne koriste. Nju izvode grupe s mlazovima napadajući požar iznutra. Ova tehnika iskorištava zrak koji je uvučen u vodenu maglu kako bi izbacila produkte izgaranja van građevine. Za izvođenje hidraulične ventilacije vodena magla treba pokrivati 85 do 90% površine prozora i vrata kroz koja će se dim izbacivati. Vrh mlaznice treba biti najmanje 0,6 m odmaknut od otvora (slika 19.). [1]



Sl. 19. Udaljenost mlaznice od prozora pri izvođenju hidraulične ventilacije [1]

**Nadtlačna ventilacija.** Primjenjuje se kao učinkovit oblik odvođenja dima i topline ne samo kod početnog gašenja, nego i tijekom izviđanja i tijekom završnih radova. Ventilator postavljen na određeni razmak rotiranjem krilca usmjerava zračnu struju kroz ulazni otvor (vrata ili prozor) u zadimljeni prostor, tamo se stvara određeni nadtlak koji se zatim izjednačava s okolnim preko izlaznog otvora (vrata, prozor, krovni prozor ili neki drugi naknadno stvoreni otvor). Pritom nastalo kretanje zraka odnosi čestice dima i toplinu iz tog dijela zgrade. Geometrija krilca na rotoru uređaja za nadtlačno provjetravanje omogućuje ne samo stvaranje zračne struje koja u potpunosti zatvara ulazni otvor, nego i pravilno raspoređivanje sile unutar zračne struje. Upravo taj pravilan raspored sile razlikuje ove uređaje od običnih ventilatora. Postoje uređaji različitih promjera rotora i pogonskih agregata, a najviše se koriste uređaji za provjetravanje s pogonom na vodenu turbinu ili s motorom s unutarnjim izgaranjem (slika 20.). [1]





Sl. 20. Nadtlačno provjetravanje objekta [1]

## 5.4 Sprave i oprema za siguran rad i zaštitu vatrogasaca od plamenih udara

### 5.4.1. Oprema za zaštitu vatrogasaca od plamenih udara u zatvorenom prostoru

Obzirom da se pri intervencijama vezanim za požare zatvorenih prostora razvijaju vrlo visoke vrijednosti oslobođene toplinske energije te vrlo opasnih i štetnih plinova te čađe koja je zastupljena u dimu, primarna zadaća svake postrojbe je, prije svega, osigurati zaštitu operativnih vatrogasaca na takvim vrstama intervencija. Tu svakako podrazumijevamo korištenje osobne i skupne zaštitne opreme ali i opreme koja je specijalizirana za provedbu ranije opisanih taktičkih zadatak (slika 21.).

**Osobna zaštitna oprema.** U osobnu zaštitnu opremu, koju koristimo kod požara zatvorenog prostora, ubrajamo:

- odijelo za prilaz vatri
- vatrootporne čizme
- zaštitna kaciga s štitnikom za vrat
- rukavice, zaštitna maska, podkapa.

**Skupna zaštitna oprema.** U skupnu opremu koju koristimo pri požaru zatvorenog prostora ubrajamo:

- penjačko i radno uže, aparati za zaštitu dišnih organa
- dozimetri i detektori te pribor za dekontaminaciju
- eksplozimetar
- akumulatorska svjetiljka u sigurnosnoj izvedbi
- druga potrebna oprema.



Sl. 21. Oprema koja se koristi pri požaru zatvorenog prostora [5]

## 5.4.2 Sprave i oprema za sprječavanje plamenih udara

Na tragu već obrađenih metoda i aktivnosti koje se provode kako bi se izbjegla bilo kakva mogućnost pojave plamenih udara, u nastavku se obrađuju neke od sprava i opreme koju koristimo kod požara zatvorenog prostora.

### 5.4.2.1 Patent mlaznice

**Univerzalna patent mlaznica.** Patent mlaznica je poboljšana u odnosu na obične konvencionalne mlaznice s fiksnim usnacom sa svih aspekata, uključujući gašenje požara vodom, poput mogućnosti reguliranja protoka vode, radnih tlakova, odabira vrste mlaza (puni, usko raspršeni, široko raspršeni, veličini kapljica itd.). Patent mlaznica razbija mlaz vode u male kapljice koje imaju mnogo veću ukupnu površinu prekrivanja vodom od obične mlaznice. Dakle, s obzirom na količinu vode u obliku magle, apsorbirat će mnogo više topline nego u istom volumenu vode u običnoj mlaznici zbog veće površine izložene području. Što je veća apsorpcija topline iz mlaza vode, manje vode treba primijeniti za uklanjanje iste količine topline iz požara. To je rezultiralo većom učinkovitosti, poboljšanjem taktike, napada i boljeg tijeka isporuke nego s običnim mlaznicama (Slika 22.). [8]



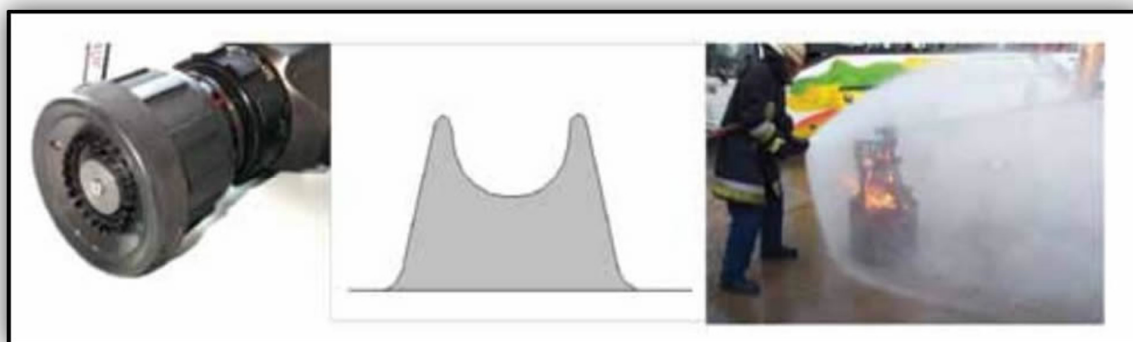
Sl. 22. Univerzalna patent mlaznica [5]

Ova vrsta mlaznica ima mogućnost namještanja određenog protoka vode okretanjem prstena koji se nalazi na tijelu mlaznice lijevo-desno, čime povećavamo i smanjujemo protok. Također, sadrži dio mlaznice s kojim se može određivati protok kao što je prethodno opisano, a osim protoka može se određivati i vrsta mlaza (puni, raspršeni s manjim kutom prekrivanja, većim kutom prekrivanja).

Podjela patent mlaznica je izvršena s obzirom na oblik mlaza pa tako imamo:

- patent mlaznice s rotirajućim prstenom i
- patent mlaznice sa stabilnim (fiksni) prstenom.

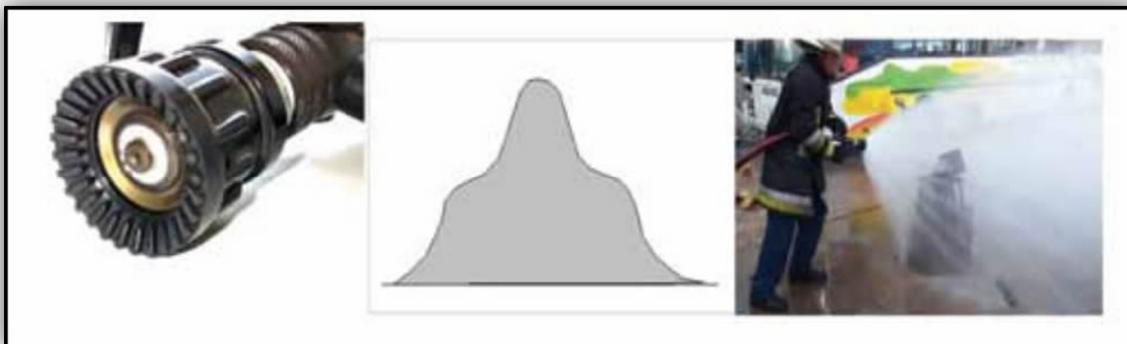
**Patent mlaznice s rotirajućim prstenom.** Kod patent mlaznica s rotirajućim prstenom voda se distribuira samo preko vanjske površine stošca i kao takva pogodna je za gašenje zapaljivih tekućina i plinova, ali nije pogodna za unutarnju navalu (slika 23.). [8]



Sl. 23. Patent mlaznice s rotirajućim prstenom, oblik stošca i primjena [8]

#### ***Patent mlaznice sa stabilnim (fiksni) prstenom***

Kod patent mlaznica sa stabilnim (fiksni) prstenom voda se distribuira preko vanjske površine cijelog stošca i kao takva pogodna je za gašenje požara u klasi A i za unutarnju navalu (slika 24.). [8]



Sl. 24. Patent mlaznice sa stabilnim prstenom, oblik stošca i primjena [7]

#### 5.4.2.2 CCS Cobra - sistem za gašenje i rezanje na visoki pritisak

Ovaj sistem namijenjen je za gašenje vatre koje je razvijeno u Švedskoj, a velika prednost mu je mogućnost da u zatvorenim prostorima spriječi zloglasni *flashover* & *backdraft*. Vatrogasci sa sistemom CCS COBRA prvi puta imaju mogućnosti gasiti vatru izvana i na taj način se efikasno boriti protiv opasnosti požara. Uz pomoć tlaka vode od otprilike 250 bara i uz dodatak abrazivne mješavine reže u roku od nekoliko sekundi rupu u vanjski zid gorućeg objekta. Na taj način je u mogućnosti u najkraćem vremenu uz pomoć raspršenog mlaza rashladiti dimne plinove koji se nalaze u prostoru. Sistem bez problema probija ne samo zidne opeke, betonske zidove, krovove, slojeve nasipa, drvo, već i čelik, silose i sigurnosna vrata, i na taj način bez dovoda kisika djelotvorno gasi vatru a istodobno se smanjuje mehanička šteta. Za napomenuti je da se na osnovu fine raspršene magle troši samo mala količina vode, što znači da se dodatne štete mogu spriječiti. Zbog brzog ishlapljivanja fine raspršene magle nastaje vodena para koja stvara brzo hlađenje temperature, a u roku od nekoliko sekundi omogućava hlađenje do ispod 100° C.

CCS COBRA nudi brojne mogućnosti primjene:

- brzo dospijevanje u šuplje prostore kao što su npr. međustropne konstrukcije
- borba protiv požara u područjima krovnih konstrukcija (krovišta, izolacije)
- požar u teško dostižnim dijelovima, npr. požari u podrumima
- požari s teškom pristupačnosti zbog visoke temperature
- požari kod kojih postoji opasnost od eksplozija

- intervencije kod kojih postoji opasnost od zapaljenja dimnih plinova
- vatra u silosima i cisternama
- rezanje prevrnutih cisterni i vagona cisterni
- rezanje otvora u zidovima i vratima, itd.

Ovaj sistem se može jednostavno priključiti na sva vozila za spašavanje i gašenje i podoban je za ugradnju na navalna vozila, a njegovo rukovanje iziskuje mali broj vatrogasaca (slika 25.). [9]



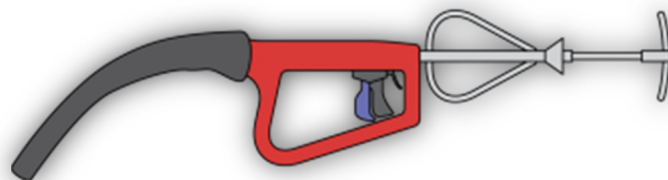
Sl. 25. Prednosti sistema CCS Cobra [9]

Sistem se sastoji od sljedećih dijelova: spremnika za vodu (optimalno je najmanje 350l), spremnika za sredstvo za rezanje, pumpe za vodu, hidraulične pumpe, kolature sa visokotlačnom cijevi (standardnih 80 m, dužina je moguća do 300 m) i jednog pištolja za gašenje (slika 26.).

Ovaj sistem ima svoju budućnost i baca u sjenu sve dosadašnje sisteme za gašenje na visoki tlak. Stručnjaci ga u cijelom svijetu preporučuju i tako predstavlja odlučujući



napredak u borbi protiv požara koji opravdava očekivanje za znatnim smanjenjem ljudskih žrtava i materijalne štete.



Sl. 26. Pištolj mlaznica CCS Cobra sustava [9]

## **6. EKSPERIMENTALNI DIO**

Kao eksperimentalni dio ovog rada obradit će se analiza taktičkog nastupa prilikom vatrogasne intervencije stana u stambenoj zgradi koju je uspješno odradila postrojba DVD-a Jastrebarsko.

### **6.1 Požarna intervencija stana u stambenoj zgradi**

Dojavu o požaru stana u stambenoj zgradi na adresi Zrinski Frankopanska 14 u Jastrebarskom zaprimila je postrojba DVD-a Jastrebarsko od strane Županijskog vatrogasnog operativnog centra (ŽVOC) u 21:18 sati. Sukladno standardnoj proceduri uzburjeni su svi operativni članovi Društva i u 21:23 sata izlaze s tri vozila i 16 ljudi.

Dolaskom na mjesto intervencije primijećeno je da se velika količina dima nalazi u prostoru hodnika u prizemlju i katu te stubištu. Dim se intenzivno širi iz stana u prizemlju u vlasništvu gospođe koja je prijavila požar. U prostoriji nije vidljiv otvoreni plamen a dim suklja iz dimnjaka (slika 28.). Jedna vatrogasna grupa provjerava situaciju oko dimnjaka, dvije vatrogasne grupe evakuiraju stanare budući se isti boje izići na stubište zbog velike količine dima. Svi stanari među kojima je bilo i troje male djece evakuirani u kratkom razdoblju izuzev gospođe u stanu na katu koja je pristala izaći tek nakon 15 min.

U fazi koja je prethodila evakuaciji pristupilo se ventiliranju stubišnog prostora kako bi se prije svega evakuirali ugroženi stanari te kako bi se pristupilo daljnjem saniranju požara. Zbog velike topline u stubištu kroz koji se proteže dimnjak kroz vertikalnu zapovjednik vatrogasne intervencije zaključuje da se radi o požaru čađe u dimnjaku te šalje jednu ekipu, opremljenu izolacijskim aparatima za zaštitu dišnih organa, u prizemlje kako bi kroz vratašca ugasili požar čađe jer nije moguće kontrolirano spaljivanje dimnjaka zbog širenja požara van prostora dimovodnog kanala. Prema informaciji jednog od stanara, utvrđuje se stan u kojem je i došlo do požara te jedna navalna grupa kreće u kontrolu i suzbijanje požara na lokaciji od kuda je i krenuo. Dolaskom ispred stana u kojem je nastao požar navalna grupa kontrolom utvrđuje

ekstremnu zagrijanost kvake ali i vrata u cijelosti što ih dovodi do zaključka da je posrijedi požar koji je prigušen uslijed nestanka zraka koji bi podržavao gorenje i da postoji velika mogućnost pojave plamenog udara. Sukladno usvojenom znanju stečenom u simulatoru plamenih udara, navalna grupa primjenjuje tehniku snižavanja temperature unutar stambene jedinice na način da jedan vatrogasac naglo i vrlo malo otvori vrata dok drugi vatrogasac mlaznicom ispaljuje tri kratka vodena impulsa u nekoliko navrata. Kada je navalna grupa uspjela osjetno spustiti temperaturu uslijedio je ulazak u prostoriju koja je od polovice prostorija do stropa bila ispunjena dimom (slika 27.). Dolaskom do žarišne točke koja je bila kod neispravne peči na kruta goriva pristupilo se gašenju žara i tinjajućih elemenata. Po završetku gašenja pristupilo se ventiliranju prostora na način da se dimovuk postavio na ulaz stana te se upuhivanjem zraka ventilirao dim kroz dva otvorena prostora. (slika 28.) Ostale ekipe odrađivale su sanaciju ostalog dijela stambene zgrade a završetak gašenja dimnjaka bio je u 01:25 sati nakon čega se pristupilo ventiliranju cijele stambene zgrade.



Sl. 27. Zadimljena prostorija uslijed djelovanja procesa pirolize [5]



Sl. 28. Pojava dima iz dimovodnog kanala [5]

## 6.2 Analiza intervencije

U ovoj intervenciji utrošeno je svega 50-ak litara vode što jasno dokazuje uvježbanost ekipa koja je požar, osim vodom, ugasila usvojenim znanjem i uvježbanim tehnikama.

U ovoj intervenciji također dolazi do izražaja i osposobljenost zapovjednog kadra koja se prepoznaje u vrlo dobro odrađenom izvidu, procjeni ali i primijenjenoj taktici koja je utjecala na uspješnost odrađene intervencije ali i smanjenju ukupne štete nastale požarom.

U ovoj intervenciji potrošena su i 3 aparata za početno gašenje požara te 10 boca sa stlačenim zrakom koje su koristili vatrogasci koji su se nalazili unutar objekata za gašenje požara te evakuaciju stanara.

## 7. ZAKLJUČCI

Po završetku obrade ovog rada moguće je izvući nekoliko zaključaka koji su prije svega vezani za činjenice te podatke koji su već poznati i provjereni ali isto tako i za one segmente koji su, posebice u našoj zemlji, još uvijek u početnoj fazi i tek se očekuje njihova implementacija u sustav naobrazbe, prije svega vatrogasnih kadrova.

Statistike govore o nekoliko tisuća požara godišnje u svijetu koji kulminiraju *flashoverom* ili *backdraftom* i nebrojenim žrtvama, u ovom radu obrađenih, fenomena. U Republici Hrvatskoj nije zabilježen niti jedan požar koji bi upućivao na to da se razvio uslijed nastanka jednog od plamenih udara, a jedan od razloga zašto nije zabilježen je činjenica da u Republici Hrvatskoj ne postoji jasan program koji je opće prihvaćen niti se provodi na nivou da u tome sudjeluju svi pripadnici vatrogasnog sustava. Kao što je u radu jasno i predstavljeno, te obrađeno, osnova predmetne problematike leži u činjenici da svaki operativni pripadnik bilo koje vatrogasne organizacije mora biti osposobljen kako bi u mogućem interventnom okruženju vrlo jasno i razborito mogao prepoznati opasnost koja mu prijeti, u njemu dosta čestim prilikama požara zatvorenog prostora, te trezveno donio odluku kako i na koji način postupiti i djelovati. Takvim vidom osposobljavanja ostvarit će se mnogi benefiti od kojih izdvajam, prije svega, život i zdravlje vatrogasaca prisutnih na terenu ali i unesrećenih, kao i konačne štete nastale pojavom izvanrednog događaja tj. intervencije.

Također, jedan od zaključaka usmjeren je ka praćenju razvoja novih i sofisticiranih tehnologija koje su implementirane u opremu koja je namijenjena za uporabu u vatrogastvu a s jasnim ciljem, omogućiti efikasniji pristup te smanjenje posljedica u vidu štete i ljudskih žrtava.

Zaključno, uz kvalitetnu i prilagođenu osobnu i skupnu zaštitnu opremu, kvalitetna obuka je glavni čimbenik u borbi s požarima, pa tako i u predviđanju te izbjegavanju plamenih udara. Po tom pitanju, u našem sustavu, već su provedene određene aktivnosti koje su polučile izvrsne rezultate a sve to usmjereno je ka jednom cilju a to je stvaranje uvjeta za kontinuirano obrazovanje i osposobljavanje vatrogasaca koji su kao takvi i nositelji velikog dijela sustava Civilne zaštite u Republici Hrvatskoj.

## 8. LITERATURA

- [1] **Grupa autora.:** „*Priručnik za osposobljavanje vatrogasnih dočasnika i časnika*“, Hrvatska vatrogasna zajednica, Zagreb, 2006., ISBN 953-6385-16-3.
- [2] **Karlović, V.:** „Procesi gorenja i gašenja“, HVZ, Zagreb, (2010.), ISBN 978-953-6385-26-3
- [3] **National Academy Press:** „Fire & smoke – understanding the hazards“, Washington D.C., 1986.
- [4] **Thomas, P. H.:** “Theoretical considerations of the growth to flashover of compartment fires“, [http://www.iafss.org/publications/frn/663/-1/view/frn\\_663.pdf](http://www.iafss.org/publications/frn/663/-1/view/frn_663.pdf), pristupljeno 14.07.2018.g.
- [5] **Vlastita arhiva i ilustracije**
- [6] **Ivančić, Z., Kirin, S.:** „Izvori požarne opasnosti“, Veleučilište u Karlovcu, (2010.), ISBN 978-953-7343-32-3
- [7] **Chitty, R. and Cox G.:** " Askfrs – an interactive computer program for conducting fire engineering estimations ", Building Research Establishment, 1988 g.
- [8] **Šipuš M.:** „3D metoda gašenja požara i utjecaj vatrogasne mlaznice na termodinamički efekt“, [file:///C:/Users/Ivica%20Sikra/Downloads/Sipus\\_M\\_3Dmetoda\\_gasenja\\_pozara\\_i\\_utjecaj\\_vatrogasne\\_mlaznice\\_na\\_termodinamicki\\_efekt\\_str\\_36\\_47.pdf](file:///C:/Users/Ivica%20Sikra/Downloads/Sipus_M_3Dmetoda_gasenja_pozara_i_utjecaj_vatrogasne_mlaznice_na_termodinamicki_efekt_str_36_47.pdf), pristupljeno 26.07.2018. g.
- [9] **CCS Cobra System:** <http://www.coldcutsystems.com/> , pristupljeno 25.07.2018. g.

## **9. PRILOZI**

### **9.1 Popis simbola (korištenih kratica)**

NFPA - National Fire Protection Organisation

RH – Republika Hrvatska

O<sub>2</sub> – Kisik

N<sub>2</sub> – Dušik

CO<sub>2</sub> – Ugljik dioksid

GIK – Granični indeks kisika

ISO - International organisation of standardisation

CO – Ugljik monoksid

DGE – Donja granica eksplozivnosti

GGE – Gornja granica eksplozivnosti

HCN - Cijanovodična kiselina

H<sub>2</sub>S – Sumporovodik

DVD – Dobrovoljno vatrogasno društvo

ŽVOC – Županijski vatrogasni operativni centar

## 9.2 Popis slika

Sl. 1. Proces gorenja .....	6
Sl. 2. Standardna temperaturna krivulja .....	9
Sl. 3. Razvoj požara u zatvorenom prostoru.....	10
Sl. 4. Odnos temperatura pri požaru zatvorenog prostora .....	15
Sl. 5. Podjela plamenih udara .....	16
Sl. 6. Krivulja prikazuje nekoliko mogućih scenarija razvoja požara u zatvorenom prostoru.....	17
Sl. 7. Standardna krivulja požara u zatvorenom prostoru.....	18
Sl. 8. Početna faza razvoja požara u zatvorenom ventiliranom prostoru .....	20
Sl. 9. Faza razvoja .....	21
Sl. 10. Pojava požarnih plinova nastalih pirolizom .....	21
Sl. 11. Pojava Flashovera .....	21
Sl. 12. Tipičan primjer predstojećeg flashovera .....	23
Sl. 13. Prodor zraka u zatvoreni prostor uslijed akcije vatrogasaca .....	24
Sl. 14. Pojava fenomena backdraft .....	25
Sl. 15. Razvoj požara u zatvorenom neventiliranom prostoru .....	26
Sl. 16. Primjer ventilacijskih otvora na krovu .....	34
Sl. 17. Isjek po čitavoj širini krova.....	35
Sl. 18. Pravilna ventilacija omogućuje veću učinkovitost gašenja požara .....	36
Sl. 19. Udaljenost mlaznice od prozora pri izvođenju hidraulične ventilacije .....	37
Sl. 20. Nadtlačno provjetravanje objekta .....	38
Sl. 21. Oprema koja se koristi pri požaru zatvorenog prostora .....	39
Sl. 22. Univerzalna patent mlaznica .....	40
Sl. 23. Patent mlaznice s rotirajućim prstenom, oblik stošca i primjena .....	41
Sl. 24. Patent mlaznice sa stabilnim prstenom, oblik stošca i primjena .....	42
Sl. 25. Prednosti sistema CCS Cobra .....	43
Sl. 26. Pištolj mlaznica CCS Cobra sustava .....	44
Sl. 27. Zadimljena prostorija uslijed djelovanja procesa pirolize .....	46
Sl. 28. Pojava dima iz dimovodnog kanala .....	47



### 9.3 Popis tablica

Tab. 1. Odnos temperature i vremena u požaru .....	8
--	---